



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“PROCESOS DE FOTOCATÁLISIS CON LUZ SOLAR Y EL  
MÉTODO DIP – COATING PARA LA REDUCCIÓN DE  
COLIFORMES DE AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO LA  
CIÉNEGA CON DESEMBOCADURA EN EL EMBALSE AGOYAN”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN:**

**TIPO: PROYECTOS TÉCNICO**

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: CASTILLO HIDALGO ERIKA DANIELA**

**TUTORA: ING. SOFÍA CAROLINA GODOY PONCE**

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Erika Daniela Castillo Hidalgo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo técnico: **“PROCESOS DE FOTOCATÁLISIS CON LUZ SOLAR Y EL MÉTODO DIP – COATING PARA LA REDUCCIÓN DE COLIFORMES DE AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO LA CIÉNEGA CON DESEMBOCADURA EN EL EMBALSE AGOYAN”**, de responsabilidad de la señorita: Castillo Hidalgo Erika Daniela, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Sofía Godoy

.....

.....

**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

Dra. Cumandá Carrera

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Erika Daniela Castillo Hidalgo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 10 de agosto del 2017

-----  
Erika Daniela Castillo Hidalgo  
C.I. 060408216-4

Yo, Erika Daniela Castillo Hidalgo soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo experimental y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

-----  
Erika Daniela Castillo Hidalgo  
C.I. 0604082164-4

## **DEDICATORIA**

Este Trabajo de Titulación está dedicado a mi padre Erick Danilo Castillo Cevallos, por ser uno de los ejes fundamentales de mi vida, por demostrarme que ante cualquier adversidad se debe continuar mirando hacia adelante con positivismo, entrega y dedicación, que el amor es infinito y sobrepasa eternidades; y, por demostrarme que la Familia es lo más importante.

A mis hermanos Andrés, Samantha y Zaskya, por impulsarme siempre a seguir adelante, por su confianza, apoyo y amor incondicional. Son la inspiración más grande en mi vida, a quienes me debo y por quienes lucho cada día.

Quiero dedicar este Trabajo de Titulación especialmente a mi madre Nanci Emitelia Hidalgo Barriga por ser, junto a mi padre, el eje fundamental de mi vida, por que iniciamos juntas este sueño y aunque físicamente ahora no te encuentres a mi lado esto fue por ti y para ti, porque siempre fuiste un ejemplo de lucha, amor y constancia, que espiritualmente siempre me acompaña porque nos demostraste que ante cualquier obstáculo que se presenta debemos luchar y aferrarnos a la vida por las personas que amamos, cada mañana veo tu rostro reflejado en mis hermanos, un sueño que lo perseguíamos juntas y que hoy se convierte en realidad, este éxito es nuestro.

Erika.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por cada día, por cada bendición, por mi familia porque ante los momentos de adversidad supo darme consuelo y fortaleza para cumplir con cada uno de mis sueños.

Agradezco a mis padres por ser el eje fundamental de mi vida, por entregarme su amor protección, y por ser mi ejemplo de dedicación y sacrificio constante para salir adelante; a mis hermanos por ser mi apoyo y mi motivación, porque simplemente son la mejor bendición que la Dios me dio. Quiero hacer extensivo mi agradecimiento a mi familia y a cada una de las personas que llegaron a mi vida en el momento indicado.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Ulba y a la Central Hidroeléctrica Agoyán por brindarme las facilidades para el desarrollo de este Trabajo de Titulación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y a los docentes que la conforman quienes impartían sus conocimientos para mi desarrollo estudiantil, especialmente a mi Tutora del Trabajo de Titulación y Miembro del Tribunal que me apoyaron para la realización de este Trabajo Técnico de Titulación.

A mi tutora Ingeniera Sofía Godoy, por brindarme su conocimiento, apoyo y amistad para el desarrollo de mi Trabajo de Titulación.

Erika.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	xv
SUMARY .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Antecedentes .....	5
1.2. Marco Conceptual.....	6
1.2.1. Diagnóstico situacional de Baños .....	6
1.2.1.1. Distribución territorial .....	6
1.2.1.2. Descripción situacional de las aguas residuales de Baños de Agua Santa.....	7
1.2.2. Diagnóstico situacional de Ulba.....	8
1.2.2.1. Distribución territorial .....	8
1.2.3. Coliformes de las aguas residuales. ....	10
1.2.3.1. Características morfológicas.....	10
1.2.3.2. Condiciones para el crecimiento.....	10
1.2.4. Legislación actualizada. ....	11
1.2.5. Energía Solar en procesos de desinfección en el Ecuador. ....	12
1.2.5.1. Radiación Solar .....	12
1.2.5.1.1. UV –A.....	12
1.2.5.1.2. UV – B.....	12
1.2.5.1.3. UV – C.....	13
1.2.5.2. Procesos de Fotocatálisis. ....	13
1.2.5.2.1. SODIS.....	14
1.2.5.2.2. Procesos de oxidación avanzada (AOPs). ....	14
1.2.5.2.3. Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) en procesos de oxidación avanzada.....	14
1.2.5.2.4. Dip-Coating. ....	15
CAPÍTULO II .....	17
1. METODOLOGÍA.....	17
2.1 Especificación de las variables. ....	17
2.2. Unidad de Análisis .....	17
2.3. Población de Estudio.....	18
2.4. Tamaño de Muestra .....	18
2.5. Selección de muestra .....	18
2.6. Técnicas de Recolección de Datos.....	18
2.7. Procedimiento.....	19



<b>2.7.1. Fotocatálisis con luz solar y el método dip – coating para la reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.</b>	<b>20</b>
2.7.1.1. Preparación de los requerimientos de fotocatálisis con luz solar y del método Dip – Coating.	20
2.7.1.2. Desarrollo de los procesos de fotocatálisis con luz solar y el método Dip-Coating para la reducción de coliformes en aguas residuales.	20
2.7.1.2.1. Procedimiento SODIS.	20
2.7.1.2.2. Procedimiento SODIS/Dip – Coating.	21
2.7.1.3. Reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.	24
<b>2.8. Análisis estadístico.</b>	<b>24</b>
2.8.1. Prueba de Kruskal-Wallis.	24
2.8.2. Prueba T.	24
<b>CAPÍTULO III.</b>	<b>25</b>
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Fotocatálisis con luz solar y el método Dip–coating para la reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.</b>	<b>25</b>
3.1.1. Preparación de los requerimientos de fotocatálisis con luz solar y del método Dip–Coating.	25
3.1.2. Desarrollo de los procesos de fotocatálisis con luz solar y el método Dip-Coating para la reducción de coliformes en aguas residuales.	25
3.1.3. Reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.	26
3.1.3.1. SODIS.	26
3.1.3.1.1. Desinfección por radiación solar.	26
3.1.3.1.2. SODIS después de 12 días.	27
3.1.3.1.3. Verificación de la reducción de coliformes mediante SODIS.	27
3.1.3.1.4. Identificación del número de coliformes en las placas Compact Dry EC para SODIS.	29
3.1.3.2. SODIS/Dip-Coating.	30
3.1.3.2.1. Inmovilización del TiO <sub>2</sub> en las varillas de vidrio (Dip-Coating).	30
3.1.3.2.2. Desinfección por radiación solar empleando Dip-Coating.	33
3.1.3.2.3. Desinfección por radiación solar empleando Dip-Coating después de 12 días.	34
3.1.3.2.4. Verificación de la reducción de coliformes mediante SODIS/Dip-Coating.	34

3.1.3.2.5. Identificación del número de coliformes en las placas Compact Dry EC para SODIS/Dip-Coating.....	36
<b>3.2. Análisis estadístico. ....</b>	<b>37</b>
3.2.1. Prueba de Kruskal-Wallis para SODIS. ....	37
3.2.2. Prueba de Kruskal-Wallis para SODIS/Dip-Coating.....	39
3.2.3 Prueba T.....	41
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TBLAS.

	Págs.
<b>Tabla 1-1.</b> Población del Cantón Baños de Agua Santa de acuerdo al censo del 2010 .....	6
<b>Tabla 2-1.</b> Servicio de alcantarillado o de otros medios para parroquias urbanas y rurales del cantón Baños de Agua Santa .....	8
<b>Tabla 3-1.</b> Jerarquía de Asentamientos .....	9
<b>Tabla 4-1.</b> Cobertura de Servicios Básicos .....	10
<b>Tabla 1-2.</b> Identificación de variables .....	17
<b>Tabla 1-3.</b> Resultados del análisis microbiológico SODIS .....	26
<b>Tabla 2-3.</b> Conteo de coliformes después de 12 días aplicando SODIS .....	27
<b>Tabla 3-3.</b> Inmovilización del dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> ) en las varillas de vidrio .....	30
<b>Tabla 4-3.</b> Peso final de las varillas de vidrio con dióxido de titanio inmovilizado en ella.....	31
<b>Tabla 5-3.</b> Varillas de vidrio con dióxido de titanio seleccionadas al azar, de acuerdo al peso final adquirido para someterlas al proceso SODIS/Dip-Coating .....	32
<b>Tabla 6-3.</b> Resultados del análisis microbiológico de SODIS/TiO <sub>2</sub> .....	33
<b>Tabla 7-3.</b> Conteo de coliformes después de 12 días de aplicación de SODIS/Dip-Coating .....	34
<b>Tabla 8-3.</b> Rangos para Kruskal-Wallis .....	37
<b>Tabla 9-3.</b> Prueba de Kruskal-Wallis .....	37
<b>Tabla 10-3.</b> Rangos para Kruskal-Wallis .....	39
<b>Tabla 11-3.</b> Prueba de Kruskal-Wallis .....	39
<b>Tabla 12-3.</b> Estadísticos de grupo para la prueba T .....	41
<b>Tabla 13-3.</b> Prueba de muestras independientes .....	41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

	Págs.
<b>Ilustración 1-1.</b> Proceso de fotocátalisis del dióxido de titanio $\text{TiO}_2$ .	15
<b>Ilustración 2-1.</b> Etapas del proceso Dip-Coating	16
<b>Ilustración 1-2.</b> Procedimientos realizados en el Trabajo de Titulación	19
<b>Ilustración 2-2.</b> Imagen proceso SODIS.	21
<b>Ilustración 3-2.</b> Imagen de la inmovilización del $\text{TiO}_2$ en varillas de vidrio	22
<b>Ilustración 4-2.</b> Imagen del proceso SODIS/Dip-Coating	23
<b>Ilustración 1-3.</b> Identificación de coliformes SODIS	29
<b>Ilustración 2-3.</b> Identificación de coliformes SODIS/Dip-Coating	36
<b>Ilustración 3-3.</b> Número de coliformes mediante SODIS en relación al tiempo de exposición.	38
<b>Ilustración 4-3.</b> Número de coliformes mediante SODIS/Dip-Coating en relación al tiempo de exposición	40
<b>Ilustración 5-3.</b> Número de coliformes mediante SODIS después de 12 días	42
<b>Ilustración 6-3.</b> Número de coliformes mediante SODIS/Dip-Coating después de 12 días	43

## ÍNDICE DE GRÁFICOS.

	Págs.
<b>Gráfico 1-1.</b> Calidad del Agua del Cantón Baños de Agua Santa.....	7
<b>Gráfico 1-3.</b> Número de coliformes reducidas mediante SODIS .....	27
<b>Gráfico 2-3.</b> Número de coliformes mediante SODIS después de 12 días .....	28
<b>Gráfico 3-3.</b> Número de coliformes reducidas mediante SODIS/ Dip – Coating .....	34
<b>Gráfico 4-3.</b> Número de coliformes mediante SODIS/ Dip - Coating después de 12 días .....	35

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS:

**SODIS:** Desinfección solar.

**TiO<sub>2</sub>:** Dióxido de titanio.

**UV:** Luz ultravioleta.

**UVA:** Luz ultravioleta en la región A.

**UVB:** Luz ultravioleta en la región B.

**UVC:** Luz ultravioleta en la región C.

**nm:** Nanómetro (1 nanómetro, nm= 10<sup>-9</sup> m).

**°C:** Grado Celsius.

**AOPs:** Procesos de oxidación avanzada.

**Pi:** Peso inicial.

**R1:** Repetición uno.

**Pf:** Peso final.

## RESUMEN

Se aplicó procesos de fotocátalisis con luz solar y el método Dip - Coating para la reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán, la investigación fue desarrollado con muestras obtenidas de la parroquia Ulba del cantón Baños de Agua Santa y fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas y Análisis Instrumental de la ESPOCH. En la reducción de coliformes de las mencionadas aguas se siguió la siguiente metodología: Se tomaron muestras de aguas residuales de dos puntos diferentes para el proceso SODIS y SODIS/Dip-Coating, posterior a ello se inmovilizó dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en 22 varillas de vidrio de borosilicato con la finalidad de emplearlas según indica el método SODIS/Dip-Coating exponiendo las muestras de cada proceso a la radiación solar en diferentes intervalos de tiempo 0; 60; 120; 180 minutos y realizando una siembra en placas compact dry EC para identificar coliformes y verificar cual proceso fotocatalítico es más eficiente para su reducción. Una vez determinada la eficiencia de cada proceso con el que se trabajó. A los doce días de iniciado el proceso, se cuantificó el número de coliformes fecales y coliformes totales, las unidades fueron incubadas a una temperatura de  $35^\circ\text{C}$ , la temperatura final al tiempo de exposición de las muestras fue de  $42^\circ\text{C}$  en 180 minutos. . El proceso fotocatalítico SODIS/Dip-Coating fue el mejor para la reducción de coliformes pues con él se logró reducir en un 97,21% de coliformes a las 24 horas, después de 12 días existió una reducción del 2,79% más. En el proceso fotocatalítico SODIS también se redujeron 68.46% de coliformes a las 24 horas, después de 12 días existió una reducción de 31.54% esto nos indica que existió una reducción pero no en gran medida a comparación al otro proceso aplicado. Se recomienda diseñar un sistema para procesos fotocatalíticos más sofisticados, para unidades experimentales.

**Palabras Claves:** <BIOTECNOLOGÍA>, <TRATAMIENTO DE AGUAS>, <DESINFECCIÓN DEL AGUA (SODIS)> <DIP-COATING> <AGUA RESIDUAL> <COLIFORMES FECALES> <COLIFORMES TOTALES>

## SUMMARY

Photocatalysis processes were applied with sun light and the method Dip-Coating for the reduction of coliforms of the sewage of the Neighborhood La Cienega with outlet with the reservoir Agoyan. The investigation was developed with samples obtained of the Parish Ulba in the Canton Baños of Agua Santa and they were analyzed in the Water and Instrumental Analysis Laboratory of ESPOCH in the coliform reduction of the mentioned waters. It was followed this methodology: Sewage samples were taken from two different points for the process SODIS, <whose acronym in English is Solar Water Disinfection>, and SODIS/Dip-Coating; afterwards this, Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) was immobilized in 22 borosilicate glass rods with the aim to employ them according to the indications of the method SODIS/Dip-Coating by exposing the samples of each process to the solar radiation in different intervals of time 0; 60; 120 y 180 minutes and by making a growing of such samples in compact dry EC plates to identify coliforms and verify which photocatalytic is more efficient for its reduction, once, the efficiency of each process was determined. At the twelve days of starting the process, the number of fecal and total coliforms were quantified, the units were incubated at a temperatura of 35°C, and the final temperatura at the time of exposure of the samples was of 42°C within 180 minutes. The photocatalytic process SODIS/Dip-Coating was the best for the reduction of coliforms since with it was reached to decrease in a 97.21% of coliforms to the 24 hours, 12 days later, existed a reduction of the 2,79% more. Within the photocatalytic process SODIS, also the coliforms were reduced to 68.46% to the 24 hours. Twelve days later existed a reduction of 31.54% this indicates a reduction but not in a great system for more sophisticated photocatalytic processes, for experimental units.

**Key Words:** <BIOTECHNOLOGY>, <WATER TREATMENT>, <DISINFECTION OF WATER (SODIS)>, <DIP-COATING>, <SEWAGE>, <FECAL COLIFORMS>, <TOTAL COLIFORMS>



## INTRODUCCIÓN

### **Identificación del problema.**

En el barrio “La Ciénega” perteneciente a la parroquia Ulba de Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua. Ulba parroquia rural del cantón Baños de Agua Santa con extensión territorial de 89,5 Km<sup>2</sup>, limita al Norte con el cantón Patate; al Sur con los páramos de Mintza en las faldas del Tungurahua, a una altitud de 3.600 msnm; al Este con la parroquia Río Verde; al Oeste con el Río Ulba hasta su desembocadura con el Pastaza. (GADM Baños de Agua Santa, 2014)

Sus habitantes evacúan directamente las aguas residuales al embalse Agoyán denominado así por el sector en el que se encuentra ubicado en la parroquia Ulba del cantón Baños de Agua Santa en el cual se origina la central Hidroagoyán que fue creada para aprovechar el caudal del río Pastaza, localizado en la provincia de Tungurahua a 180 Km. Al sureste de Quito y a 5 Km al este de la ciudad de Baños en el sector denominado Agoyán de la parroquia Ulba. Las aguas residuales del barrio la Ciénega son generadoras de mal olor en el embalase por ser el punto más cercano de evacuación sin contar previamente con una planta de tratamiento o una gestión pertinente.

Es característica de aguas domésticas negras la presencia de microorganismos por la acumulación de materia orgánica; patógena como coliformes fecales y totales en estas aguas han generado malestar a los ciudadanos del Barrio. La concentración de coliformes en estas aguas residuales diariamente es de  $2.4 \times 10^3$  NMP/100 ml valor que sobrepasa los límites establecidos en el Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Estado actual vigente Reformado por Decreto Ejecutivo 3516 publicado en el Registro Oficial Edición Especial 2, firmado y publicado el 31 de marzo del 2003, con una última reforma realizada el 05 de julio del 2016. (REGISTRO OFICIAL, LEXISFINDER, 2016)

Actualmente en la parroquia Ulba del cantón Baños de Agua Santa no existe un aprovechamiento de energías naturales en procesos de descontaminación de acuerdo a información entregada por el GAD Parroquial de Ulba, las cuales, obedecen a dos factores: el primero relativo a un desconocimiento sobre los beneficios que proporciona la utilización de fuentes naturales en procesos de descontaminación; asociado también a la pasividad o costumbre en procesos de descontaminación.

Por tal razón en este trabajo fue preciso formularse la pregunta principal del problema:

¿La reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega que desemboca en el embalse Agoyán al ser tratada con fotocátalisis de luz solar y el método Dip - Coating evita la generación de malos olores en el sector?

### **Justificación del proyecto.**

Como resultado de los análisis realizados por la Central Hidroeléctrica Agoyán (CELEC EP Hidroagoyán) en el Laboratorio Químico Integral – Servicios Profesionales “Casa del Químico”, bajo la referencia de trabajo y respaldo del Laboratorio LAB-QAM-38706. OPS realizado en diferentes puntos del embalse Agoyán se constató la presencia de coliformes en las aguas residuales emitidas por los ciudadanos del barrio La Ciénega (cuyo punto de descarga directa es el embalse Agoyán), por tal razón se requirió la aplicación de una tecnología ambientalmente sostenible que esté al alcance de la población para la reducción de coliformes de las aguas residuales y con ello minimizar el malestar que genera a los ciudadanos.

El proceso que cumple con lo expuesto anteriormente es el proceso de fotocátalisis, usando como componentes principales de tratamiento a la luz solar y dióxido de titanio inmovilizado mediante el método Dip coating (Kim y col., 2004) para reducir el tiempo de exposición solar. El proceso de fotocátalisis con luz solar es una tecnología simple, empleada para mejorar microbiológicamente la calidad del agua. La inactivación de microorganismos se atribuye a la radiación ultravioleta emitida por la energía solar.

Existen varias investigaciones que demuestran que fotocátalisis con luz solar es un proceso de desinfección efectivo y de bajo costo que han ganado reconocimientos importantes por la Organización Mundial de la Salud. El dióxido de titanio es el semiconductor más frecuente usado en fotocátalisis por su bajo costo, fácil accesibilidad, baja toxicidad, resistencia a la fotocorrosión y a su eficiencia catalítica. Este compuesto está disponible en la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y por tal razón se lo ha considerado como parte fundamental del objeto de este trabajo de titulación

Este trabajo aplicativo es pertinente para la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental en cumplimiento con lo establecido en el perfil de egreso las líneas de investigación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Por intermedio de este Trabajo de Titulación se pretende aplicar tratamientos poco convencionales en la zona 3 del país y se pretende demostrar que este tipo de tecnología es un mecanismo eficiente para la reducción de coliformes en las aguas residuales que constituye una de las principales tensiones y problemas de la zona mencionada.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Aplicar procesos de fotocátalisis con luz solar y el método Dip - Coating para la reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Preparar los requerimientos de fotocátalisis con luz solar y del método Dip – Coating.
- Desarrollar procesos de fotocátalisis con luz solar y el método Dip-Coating para la reducción de coliformes en aguas residuales.
- Reducir coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

#### 1.1. Antecedentes

Solsona F. (2002) en su investigación Desinfección del Agua, refiere que el tratamiento con radiación solar es el único método físico práctico que puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas, Solsona refiere que este tipo de tratamiento es empleado continuamente para la desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas y recibe atención como desinfectante de pequeños sistemas de agua sin producir cambios físicos o químicos notables. (SOLSONA & MÉNDEZ, 2002, pág. 211)

Gutiérrez C. (2008) en su experimento realizado en la Universidad Autónoma de Querétaro refiere a que en los procesos de oxidación avanzada empleados en su estudio, la oxidación de contaminantes orgánicos en agua y aire es realizada a través de la aplicación de sistemas de reacción con dióxido de titanio,  $\text{TiO}_2$  que desempeña el rol de fotocatalizador y a su vez menciona la importancia de utilizar la luz solar en combinación con este foto-catalizador para inactivar microorganismos patógenos del agua.

Fujishima A, Honda K (1972) en su documento Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode Nature (Fotólisis electroquímica de agua a una naturaleza de electrodos semiconductores) especifica que las reacciones de reducción y oxidación foto-catalítica sobre la superficie del  $\text{TiO}_2$  han sido ampliamente investigadas como un método efectivo para purificación ambiental del aire y del agua.

(Ireland & Valinierks, 1992) Ha demostrado la habilidad del  $\text{TiO}_2$  como un método germicida, en Ireland (1993) fue el primer reporte de inactivación de microorganismos en aguas usando  $\text{TiO}_2$  como un foto-catalizador con lámpara de luz ultravioleta, observándose rápida muerte de células, el efecto fue atribuido a la generación de radicales OH.

(Kim G, Joseph R, & Stephen Q. , 2004) Hacen mención al método Dip-Coating para producir dióxido de titanio inmovilizado sobre varillas de vidrio. Este procedimiento fue utilizado en la Universidad de California, San Diego, para la fijación de dióxido de titanio en pequeños tubos para la experimentación con un reactor foto-catalítico, con el objetivo de determinar la cinética

química en la degradación del ácido benzoico que sirvió como diseño de una planta de remediación de agua residual.

## 1.2. Marco Conceptual

### 1.2.1. Diagnóstico situacional de Baños

#### 1.2.1.1. Distribución territorial

El cantón Baños de Agua Santa fue creado un 16 de Diciembre del año 1944 con una extensión de 1066 Km<sup>2</sup>, sus límites: al Norte con la provincia de Napo y el cantón Tena; al Sur con la provincia de Chimborazo, el cantón Penipe y la provincia de Morona Santiago; al Este con la provincia de Pastaza y el cantón Mera; al Oeste con la provincia de Tungurahua y los cantones Patate y Pelileo. (GADM Baños de Agua Santa, 2014, pág. 16)

Baños de Agua Santa posee seis comunidades que forman parte de la parroquia urbana y cuatro comunidades conformadas en la parroquia rural. La parroquia urbana está conformada por las comunidades Illuchi alto, Illuchi Bajo, Runtún, Juive Chico, Juive Grande y Pondoá; en la parroquia rural se encuentran Lligua, Ulba, Río Verde y Río Negro. Constituyéndose con el 31.5 % del territorio correspondiente a la provincia de Tungurahua, ubicado en la zona 3 de acuerdo a la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador-SENPLADES. Cuenta con una población de 20018 habitantes según el censo del 2010 equivalente al 4% de Tungurahua. Más del 64% de la población se encuentra en el área urbana y el 35% en el área rural. La mayor concentración poblacional se localiza en la cabecera cantonal Baños con el 54.9% de la población total de dicho cantón. Se ha considerado una población futura para el año 2020 de 25043 habitantes. (GADM Baños de Agua Santa, 2014, pág. 17)

**Tabla 1-1.** Población del Cantón Baños de Agua Santa de acuerdo al censo del 2010.

Parroquias	Hombres	%Hombres	Mujeres	%Mujeres	Total	%
Baños	7318	36,56	7335	36,64	14653	73,20
Lligua	138	0,69	142	0,71	280	1,40
Río Negro	638	3,19	608	3,04	1246	6,22
Río Verde	669	3,34	638	3,19	1307	6,53
Ulba	1271	6,35	1261	6,30	2532	12,65
<b>TOTAL</b>	<b>10034</b>	<b>50,12</b>	<b>9984</b>	<b>49,88</b>	<b>20018</b>	<b>100,00</b>

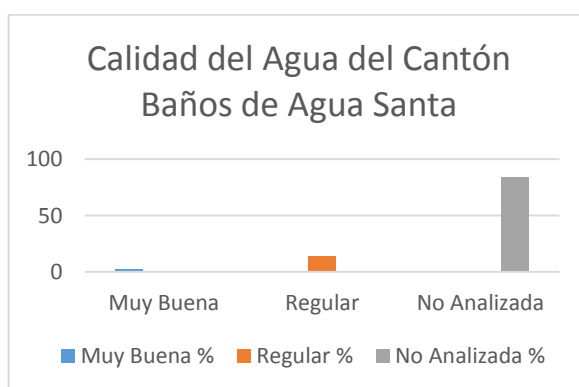
Fuente: (GADM Baños de Agua Santa, 2014, pág. 160)

En el censo del año 2010 se encuentra que el mayor número de habitantes va de 15 a 24 años tomando en cuenta que el rango de 20 a 24 años pertenece a la población económicamente activa y en edad reproductiva. (GADM Baños de Agua Santa, 2014, pág. 160)

#### *1.2.1.2. Descripción situacional de las aguas residuales de Baños de Agua Santa.*

El cantón Baños de Agua Santa cuenta con un clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo, los factores que influyen en este tipo de clima son la precipitación, la temperatura que oscila de 6 a 20 °C, el relieve y la vegetación que es apreciada en el área territorial del cantón. El régimen hidrológico del cantón es definido en su mayoría por las condiciones de humedad existentes. Los puntos de descarga de las aguas residuales del cantón desembocan en el río Pastaza sin recibir un tratamiento previo, los contaminantes producidos por actividades agrícolas se generan en la parte alta de dicho río. El recurso hídrico del cantón Baños de Agua Santa en gran parte no ha sido analizado debido a la ausencia de un control a las actividades productivas y baja cobertura pública respecto al saneamiento ambiental en el área rural, lo que ha generado un deterioro continuo del Pastaza. (GADM Baños de Agua Santa, 2014, págs. 37-39)

Por la demanda que tiene el recurso hídrico para satisfacer las necesidades de los habitantes y las actividades turísticas, la administración pública ha realizado captaciones de agua que en su mayoría se encuentran en el cantón Baños de Agua Santa. El cantón Baños de Agua Santa, al encontrarse en las estribaciones de los Llanganates cuenta con una cantidad de agua considerable de la cual tan solo un 16% aproximadamente ha sido analizado y caracterizado. (GADM Baños de Agua Santa, 2014, págs. 45-47)



**Gráfico 1-1.** Calidad del Agua del Cantón Baños de Agua Santa.

**Fuente:** (GADM Baños de Agua Santa, 2014, págs. 46-47)

El servicio de alcantarillado del cantón Baños de Agua Santa de acuerdo al censo 2010 se diferencia debido al número de viviendas que poseen acceso a la red pública de alcantarillado,

acceso a pozo séptico, pozo ciego, descargan directo a algún cuerpo de agua, letrina o que no cuentan con este servicio. (GADM Baños de Agua Santa, 2014)

**Tabla 1-1.** Servicio de alcantarillado o de otros medios para parroquias urbanas y rurales del cantón Baños de Agua Santa.

Parroquia	Red alcantarillado		Pozo séptico		Pozo ciego		Descarga directa		Letrina		No tiene	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
<b>BAÑOS</b>	3396	81	84	84	76	254	64	9	6	9	19	50
<b>LLIGUA</b>	0	36	0	8	0	15	0	6	0	3	0	21
<b>RÍO NEGRO</b>	0	240	0	29	0	13	0	48	0	7	0	46
<b>RÍO VERDE</b>	0	176	0	21	0	16	0	76	0	6	0	33
<b>ULBA</b>	0	551	0	25	0	46	0	39	0	12	0	86

Fuente: (GADM Baños de Agua Santa, 2014, pág. 170)

### **1.2.2. Diagnóstico situacional de Ulba.**

#### **1.2.2.1. Distribución territorial.**

Ulba es una parroquia rural del cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua geográficamente ubicada en el cañón del Pastaza en su descenso hacia la Amazonía; constituyéndose con una extensión territorial de 89,5 Km<sup>2</sup>. Se encuentra dentro de la zona de influencia del volcán Tungurahua. (GAD PAROQUIAL , 2015)

Los ríos Ulba y Pastaza son considerados zonas de afectación ante una posible erupción volcánica pues son los principales portadores de material volcánico, representando un riesgo para la parroquia debido a que sus habitantes se encuentran asentados en las orillas del mismo. Cuenta con diez comunidades como: Cabecera parroquial, Agoyán, Chamana, Nuevo Juive Grande, La Ciénaga, Lligñay, El Porvenir, Río Blanco, Río Verde Chico, Vizcaya. Ulba debido a su amplia diversidad acuática y recreacional se encuentra influenciada por varios sistemas hídricos importantes. El Parque Nacional Llanganates ubicado dentro de la parroquia Ulba aproximadamente el 20% de su superficie se encuentra bajo prioridad de conservación. La zona de alto riesgo está ubicada en el cauce del río Pastaza que recorre los poblados Río Verde, La Ciénaga, Chaguayacu, entre otros, hasta llegar al poblado El Guadual ubicado en el límite Este de la parroquia. (GAD PAROQUIAL , 2015)

Ulba es la segunda parroquia más poblada del cantón Baños de Agua Santa con 2.532 habitantes, que representa el 12,6% de la población total del cantón. La composición por sexo es casi igualitaria con un porcentaje apenas mayor de 50,19% en hombres sobre el porcentaje de mujeres. Existe un porcentaje mayor de población joven que alcanza el 61% de la población. (GAD PAROQUIAL , 2015)

Las comunidades de la parroquia Ulba fueron caracterizadas como: Orden 1, Esta área cuenta con cobertura total de alcantarillado, luz eléctrica y acceso al agua potable. Los niveles de acceso a servicios de salud, educación y movilidad son elevados en comparación con el resto de asentamientos debido a su cercanía con la zona urbana del cantón Baños. El Orden 2 se refiere a los que poseen cobertura de alcantarillado aun cuando la cobertura de luz eléctrica disminuye en comparación con el Orden. Dentro del Orden 3 se encuentran los que no poseen cobertura de alcantarillado, los porcentajes de cobertura de luz eléctrica son los más bajos de la parroquia y no cuentan con vías en buen estado que permitan acceder a servicios de salud y educación. (GAD PAROQUIAL , 2015)

**Tabla 2-1.** Jerarquía de Asentamientos.

Orden	Asentamiento
1	Cabecera Parroquial
2	Yunguilla
	Río Blanco
	El Agoyán
	La Ciénega
	Río Verde
	Vizcaya
	Lligñay
3	Río Verde Chico
	El Porvenir

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

**Fuente:** (GAD PAROQUIAL , 2015, págs. 75-78)

La cobertura de servicios básicos en la parroquia en general no es buena sin embargo, existen zonas cercanas a la cabecera parroquial, en donde el porcentaje de acceso es mejor. (GAD PAROQUIAL , 2015)



**Tabla 3-1.** Cobertura de Servicios Básicos.

<b>Asentamiento Principal</b>	<b>Cobertura de Agua (%)</b>	<b>Cobertura de Alcantarillado (%)</b>	<b>Cobertura de Energía Eléctrica (%)</b>
<b>Cabecera</b>	13,70	100	10,69
<b>Parroquial</b>	12,33	100	12,78
	14,52	100	10,14
	10,68	100	11,39
<b>Vizcaya</b>	1,64	31,38	7,50
<b>El Porvenir, Río Verde, Lligñay</b>	3,56	9,33	6,53
<b>El Agoyán, Río Blanco</b>	3,29	2,00	7,78
<b>La Conquista</b>	0,00	15,71	3,19
<b>Yunguilla</b>	12,60	91,45	7,64
<b>Charguayacu</b>	0,82	4,04	3,75
<b>La Ciénega</b>	8,77	14,34	9,03

Realizado por: Erika Daniela Castillo Hidalgo.

Fuente: (GAD PAROQUIAL , 2015, págs. 75-78)

### **1.2.3. Coliformes de las aguas residuales.**

#### **1.2.3.1. Características morfológicas.**

Este grupo de microorganismos comprende varios géneros de la familia *Enterobacteriaceae*, capaces de fermentar la lactosa, están ampliamente difundidos en la naturaleza, agua y suelo. También son habitantes normales del tracto intestinal del hombre y animales de sangre caliente. Las bacterias coliformes son capaces de fermentar la lactosa a 35°C con producción de gas. Dentro de los coliformes totales se pueden distinguir los coliformes fecales considerados como los mejores indicadores de riesgo de afecciones humanas. (Alonso Nore & Poveda Sanchez , 2008)

#### **1.2.3.2. Condiciones para el crecimiento.**

Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Las

bacterias coliformes se encuentran mayoritariamente en las aguas residuales. (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración, 2011, pág. 225)

Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas; se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración, 2011, pág. 225)

La capacidad de reproducción de los coliformes fuera del intestino de los animales homeotermos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad. (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración, 2011, pág. 226)

Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, debido a que cada persona elimina diariamente de 100.000 a 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias. (Espigares García & Pérez López, 1985, pág. 18)

Las partículas de las aguas residuales son capaces de dispersarse en el aire e inhalarlas causando molestias gastrointestinales, diarrea, náuseas y vómitos. (Dato Salud, 2014)

#### ***1.2.4. Legislación actualizada.***

De acuerdo a lo establecido por el Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Estado actual vigente Reformado por Decreto Ejecutivo 3516 publicado en el Registro Oficial Edición Especial 2, firmado y publicado el 31 de marzo del 2003, con una última reforma realizada el 05 de julio del 2016. Por mandato de la Disposición Transitoria Décima Primera del Acuerdo Ministerial No. 61, publicado en Registro Oficial Suplemento 316 de 4 de Mayo del 2015, dispone que se entenderá como vigente este Anexo hasta que se expida el nuevo. (REGISTRO OFICIAL, LEXISFINDER, 2016)

La presente norma técnica ambiental revisada y actualizada nos permite identificar los límites permisibles para las descargas en cuerpos de aguas de acuerdo al mandato 5.2.4 en el cual se indican las normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce. (REGISTRO OFICIAL, LEXISFINDER, 2015, pág. 21)

Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en la Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia. (REGISTRO OFICIAL, LEXISFINDER, 2015, pág. 22)

### ***1.2.5. Energía Solar en procesos de desinfección en el Ecuador.***

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado al momento de hablar de energías renovables como la luz solar, debido a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a nuestra superficie durante todo el año. Esta situación no ocurre en otros sitios del planeta en donde el ángulo de incidencia de la luz solar varía acorde a las estaciones del año. (CIE, 2013)

#### ***1.2.5.1. Radiación Solar***

En el Ecuador la recepción de radiación solar varía dentro del territorio nacional únicamente por condiciones climatológicas locales y que varían de acuerdo a la cercanía o lejanía del Sol. (CIE, 2013)

La radiación solar puede dividirse en tres rangos de longitud de onda: radiación UV, luz visible y radiación infrarroja. El ojo humano no puede percibir la radiación UV que tiene un rango de radiación muy agresiva que puede causar daños severos a la piel y los ojos y puede destruir las células vivas. La mayoría de la luz UV-C y UV-B en el rango de 200 a 320 nm es absorbida por la capa de ozono ( $O_3$ ) en la atmósfera que protege a la tierra de un gran porcentaje de la radiación solar proveniente del espacio. Sólo una fracción de la radiación UV-A, con un rango de longitud de onda más alto, 320 a 400 nm, cercano a la luz violeta visible, llega a la superficie de la tierra. (AWAG/SANDEC, 2002, pág. 18)

##### ***1.2.5.1.1. UV – A***

Es la continuación de la radiación visible comprendida como la radiación solar menos nociva y responsable del bronceado de la piel. Su longitud de onda varía entre 400 y 320 nm, la mayoría de estos rayos llega a la superficie terrestre (Vallejo Delgado, 2003, pág. 8)

##### ***1.2.5.1.2. UV – B***

Es llamada también UV biológica, varía entre 280 y 320 nm y es muy peligrosa para la vida en general y, en particular, para la salud humana, en caso de exposiciones prolongadas de la piel y los ojos (cáncer de piel, melanoma, catarata, debilitamiento del sistema inmunológico). Representa sólo el 5% de la UV y el 0.25% de toda la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. Llegando a la Tierra muy atenuada por la capa de ozono. (Vallejo Delgado, 2003, pág. 8)

#### *1.2.5.1.3. UV – C*

Es en teoría la más peligrosa para el hombre, pero afortunadamente es absorbida totalmente por la atmósfera cuya longitud de onda oscila entre los 280 y 200 nm (Vallejo Delgado, 2003, pág. 8)

La luz UV-A tiene un efecto letal en los patógenos presentes en el agua que afectan a los humanos. Estos patógenos no se adaptan bien a las condiciones ambientales agresivas, pues sus condiciones de vida específicas son las del tracto gastrointestinal humano. Por lo tanto, son más sensibles a la luz solar que los organismos que abundan en el ambiente. (AWAG/SANDEC, 2002, pág. 18)

La radiación UV-A interactúa directamente con el ADN, los ácidos nucleicos y las enzimas de las células vivas, cambia la estructura molecular y puede producir la muerte de la célula. La radiación UV también reacciona con el oxígeno disuelto en el agua y produce formas altamente reactivas de oxígenos (radicales libres de oxígeno y peróxidos de hidrógeno). Estas moléculas también interfieren con las estructuras celulares y matan a los patógenos. (AWAG/SANDEC, 2002, pág. 18)

La radiación de onda larga, denominada infrarroja no la puede percibir el ojo humano, pero si siente el calor producido por la luz con una longitud de onda superior a 700 nm. La radiación infrarroja absorbida por el agua es responsable de su calentamiento. (AWAG/SANDEC, 2002, pág. 18)

#### *1.2.5.2. Procesos de Fotocatálisis.*

La fotocatálisis consiste en la aceleración de una fotorreacción producida por un catalizador, requiere que el catalizador absorba un cuanto de energía. Después de la absorción de energía, la especie absorbente genera portadores de carga (huecos y electrones) y éstos últimos son transferidos al oxidante. Al mismo tiempo, el catalizador acepta electrones del agente reductor los cuales llenan los huecos generados en la banda de valencia del semiconductor. De esta forma, el flujo neto de electrones es nulo y el catalizador permanece inalterado. El concepto general de la degradación fotocatalítica es simple: el uso de un semiconductor para generar suspensiones coloidales estables bajo radiación para estimular una reacción en la interfase sólido-líquido. (Bandala, Corona-Vásquez, Guisar, & Uscanga, 2007, pág. 54)

El proceso de fotocatálisis usando dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) como catalizador ha sido ampliamente utilizado para la desactivación de una amplia variedad de microorganismos así como para la eliminación de células cancerosas (Blake et al., 1999; Srinivasa y Somasundaram, 2003) (Bandala, Corona-Vásquez, Guisar, & Uscanga, 2007, pág. 54)

#### *1.2.5.2.1. SODIS.*

La desinfección solar del agua (SODIS) usa la energía solar para destruir los microorganismos patógenos que causan enfermedades transmitidas por el agua y de esa manera mejorar su calidad. (AWAG/SANDEC, 2002, pág. 4)

SODIS usa dos componentes de la luz solar para la desinfección del agua: El primero, la radiación UV-A, que tiene efecto germicida y el segundo componente, la radiación infrarroja, encargado de elevar la temperatura del agua generando el efecto de pasteurización. El uso combinado de la radiación UV-A y del calor produce un efecto de sinergia que incrementa la eficacia del proceso. Esto implica que la mortalidad de los microorganismos se incrementa cuando están expuestos a temperatura elevada y a la luz UV-A simultáneamente. (AWAG/SANDEC, 2002, pág. 19)

#### *1.2.5.2.2. Procesos de oxidación avanzada (AOPs).*

Los procesos de oxidación avanzada se encuentran incluidos dentro de los procesos de oxidación química más efectivos para el tratamiento de agua (Bandala, y otros, 2006). Estas tecnologías están basadas en procesos fisico-químicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes (Domenech, Jardim, & Litter, 2004). El concepto de los AOPs fue establecido inicialmente por Glaze y colaboradores (Glaze W. , 1987) (Glaze, Kwang, & Chapin, 1987) (Bolton, 2001) quienes los definieron como procesos que involucran la generación de especies oxidantes altamente reactivas capaces de atacar y degradar sustancias orgánicas. Se ha sugerido que su alta eficiencia es debida a su viabilidad termodinámica y a una velocidad de reacción incrementada por la participación de radicales libres (Domenech, Jardim, & Litter, 2004). (Bandala, Corona-Vásquez, Guisar, & Uscanga, 2007, pág. 54)

Los AOPs tienen la capacidad de mineralización de compuestos orgánicos y oxidación de los inorgánicos. Dentro de estos procesos, la fotocatalisis solar permite degradar contaminantes mediante la absorción de energía por medio de un catalizador para la formación de radicales hidroxilos ( $\bullet\text{OH}$ ) altamente reactivos y oxidantes (Maldonado, Suárez, Miranda-García y Sánchez, 2010, pp. 89,93). (Acevedo Dávila, 2015, pág. 23)

#### *1.2.5.2.3. Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en procesos de oxidación avanzada*

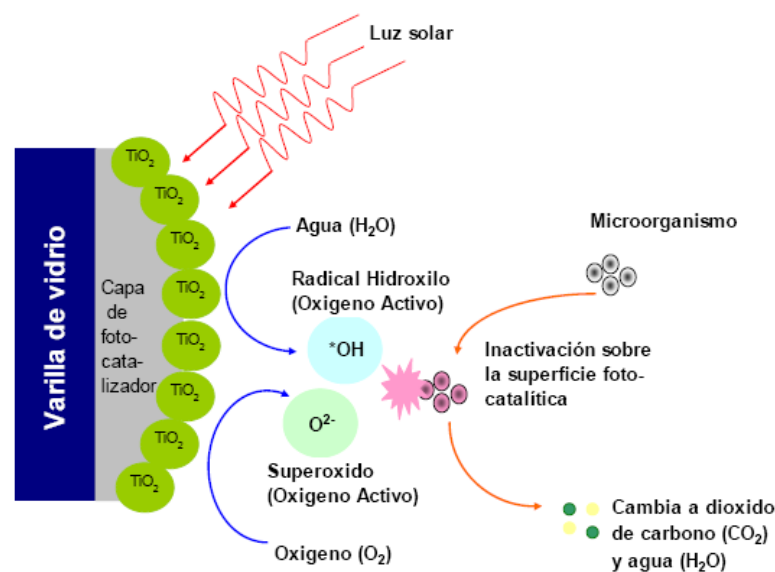
El dióxido de titanio es un óxido natural del titanio que se encuentra comúnmente en tres formas polimórficas llamadas rutilo, anatasa y brookita, siendo las dos primeras las más abundantes en

la naturaleza (Fechete et al., 2012, p. 20; Min-Teh y Rahman, 2010, p. 1650). (Acevedo Dávila, 2015, pág. 11)

El dióxido de titanio ha sido comúnmente utilizado en pinturas, aditivos de maquillaje, protectores solares y en diversos procesos ambientales para la degradación de contaminantes líquidos y gaseosos. Sus propiedades permiten que pueda ser empleado en tan variados campos. Además, posee un bajo costo, no es tóxico, se encuentra comercialmente disponible en diferentes formas cristalinas, es químicamente inerte y es altamente fotoactivo. (Acevedo Dávila, 2015, pág. 11)

Este catalizador presenta una separación adecuada entre sus bandas de valencia y de conducción, razón por la cual puede absorber la radiación UV proveniente de la luz solar. (Acevedo Dávila, 2015, pág. 11)

La radiación ultravioleta natural que llega a la superficie terrestre corresponde a las regiones UV-A y UV-B, puesto que la radiación UV-C es absorbida en la atmósfera. Así, la radiación UV-A puede proveer de la energía suficiente para que el dióxido de titanio se active en procesos fotocatalíticos. (Acevedo Dávila, 2015, pág. 12)



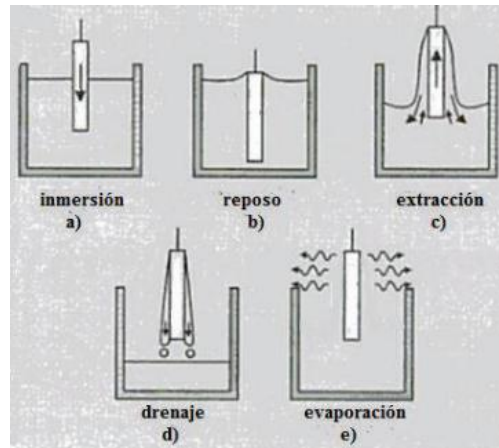
**Ilustración 1-1.** Proceso de fotocatalisis del dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$ .

**Fuente:** (GUTIERREZ RICO & RÓBLES DÁVILA, 2008, pág. 73)

#### 1.2.5.2.4. Dip-Coating.

Es una técnica convencional para líquidos que permite obtener recubrimientos finos y de muy buena calidad superficial. Siendo simple y versátil entre las técnicas de recubrimiento por

inmersión en una solución. El proceso incluye la inmersión perpendicular y posterior extracción del sustrato a velocidad controlada en una solución preparada para la formación de la película, drenaje en el mismo equipo, evaporación y secado. (Acevedo Dávila, 2015, pág. 15)



**Ilustración 2-1.** Etapas del proceso Dip-Coating.

**Fuente:** (Acevedo Dávila, 2015, pág. 15)

El paso inicial del proceso es la entrada del sustrato a la solución preparada a la misma velocidad controlada con la que se realizará su posterior extracción. El tiempo de reposo en posición vertical puede ser muy variado y tiene la función de permitir que el sustrato permanezca en contacto con la solución para la formación de la película. (Acevedo Dávila, 2015, pág. 17)

Algunos estudios han establecido que una fina capa de dióxido de titanio presenta buena respuesta fotocatalítica, por lo que no es necesario aplicar varios ciclos de inmersión. Adicionalmente establecieron que las películas obtenidas por la técnica Dip-Coating no se desactivan después de la primera inmersión y el posterior lavado. La capa final de dióxido de titanio suele medirse mediante el peso de dicha capa, obtenido a través de una diferencia de pesos entre el peso inicial y final del proceso de impregnación. (Acevedo Dávila, 2015, pág. 17)

## CAPÍTULO II

### 1. METODOLOGÍA.

#### 2.1 Especificación de las variables.

**Tabla 1-2.** Identificación de variables.

<b>VARIABLE</b>	<b>TIPO DE VARIABLE</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN</b>
Concentración de coliformes.	Variable Dependiente	Conteo de coliformes.	Análisis Microbiológico.
Eficiencia del método SODIS.	Variable Independiente	Temperatura. Tiempo.	Termómetro. Reloj.
Eficiencia del proceso SODIS con Dip-Coating.	Variable Independiente	Temperatura. Concentración del $\text{TiO}_2$ inmovilizado. Tiempo.	Termómetro. Baño ultrasónico. Varillas de vidrio pyrex. Reloj.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

#### 2.2. Unidad de Análisis

Se trabajó con cuatro unidades experimentales: dos fueron aplicadas por el método SODIS y las otras dos aplicaron SODIS CON  $\text{TiO}_2$  en el método Dip-Coating. Todas las unidades de estudio fueron sometidas a condiciones iguales de temperatura para determinar la efectividad de cada proceso.



### **2.3. Población de Estudio**

Coliformes fecales y totales de aguas residuales del barrio “La Ciénega” de la parroquia Ulba con desembocadura directa al embalse Agoyán.

### **2.4. Tamaño de Muestra**

4 litros de agua residual, distribuidos en 1 litro por cada unidad experimental.

### **2.5. Selección de muestra**

Las muestras del agua residual fueron tomadas de dos puntos de descarga directa de la parroquia Ulba.

Se muestreó en dos puntos de desfogue distintos de la parroquia Ulba el punto de muestra 1 ubicado en la propiedad de la Sra. Leonila Moreno Vicepresidenta del GAD Parroquial de Ulba con coordenadas X= 0790472; Y= 9845702; el punto de muestra 2 se encontró ubicado en el sector Guairapungo por la entrada a Verde Chico con coordenadas X=0790484; Y=9845709, (datos tomados por GPS GARMIN) propiedad del Ing. Carlos Sánchez.

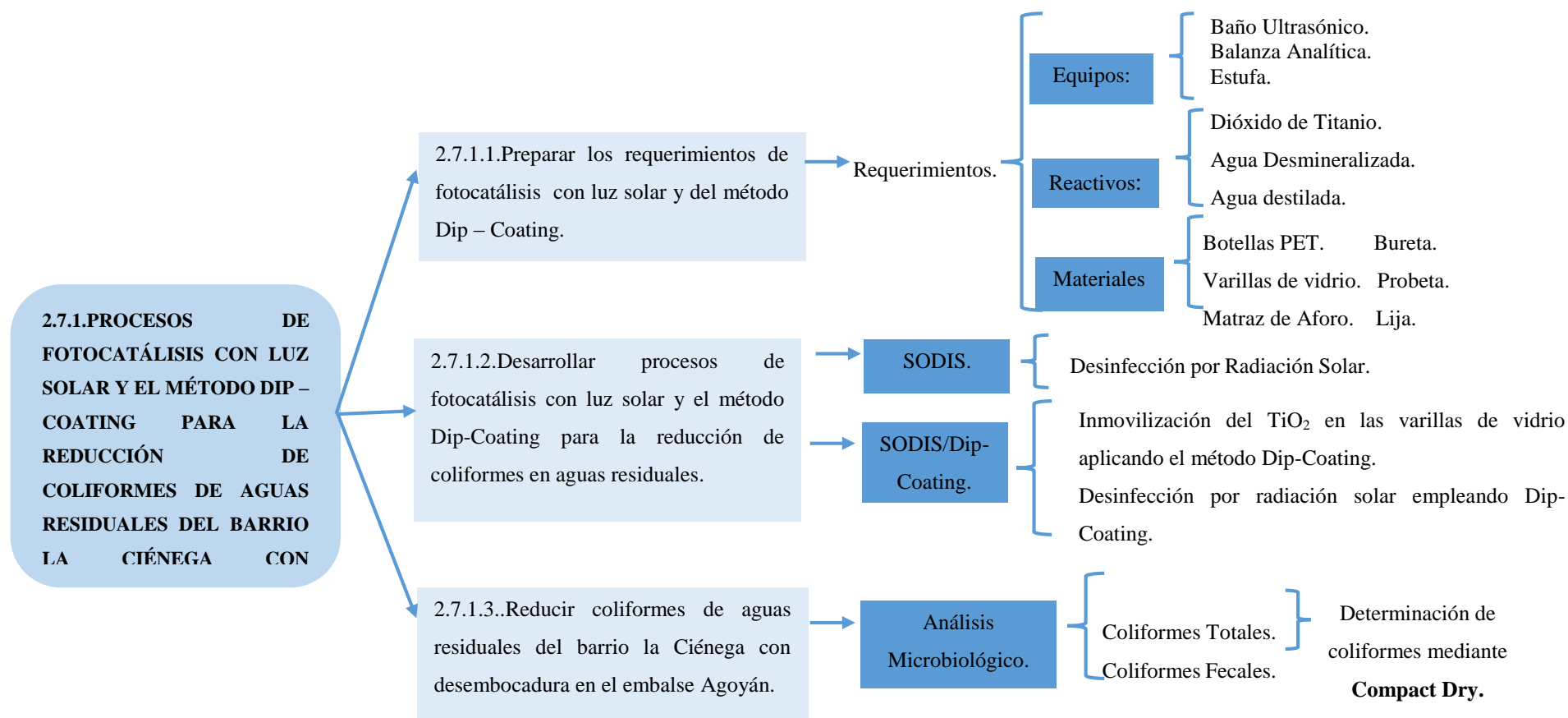
### **2.6. Técnicas de Recolección de Datos**

Análisis de laboratorio: parámetros microbiológicos de aguas residuales: coliformes totales, coliformes fecales.

Revisión documentada proporcionada por el GAD Parroquial de Ulba y La Corporación Eléctrica del Ecuador Hidroagoyán CELEC.EP.

Entrevistas con el Ing. Carlos Jaramillo Jefe del Departamento de Gestión Ambiental y Social de la central hidroeléctrica el Agoyán y la Sra. Leonila Moreno Vicepresidenta del GAD Parroquial de Ulba informantes calificados quienes comentaron que las aguas residuales del barrio la Ciénega son generadoras de mal olor en el embalse el Agoyán por ser el punto de desfogue más cercano sin contar previamente con una planta de tratamiento.

## 2.7. Procedimiento.



**Ilustración 1-2.** Procedimientos realizados en el Trabajo de Titulación.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

**2.7.1. Fotocatálisis con luz solar y el método dip – coating para la reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.**

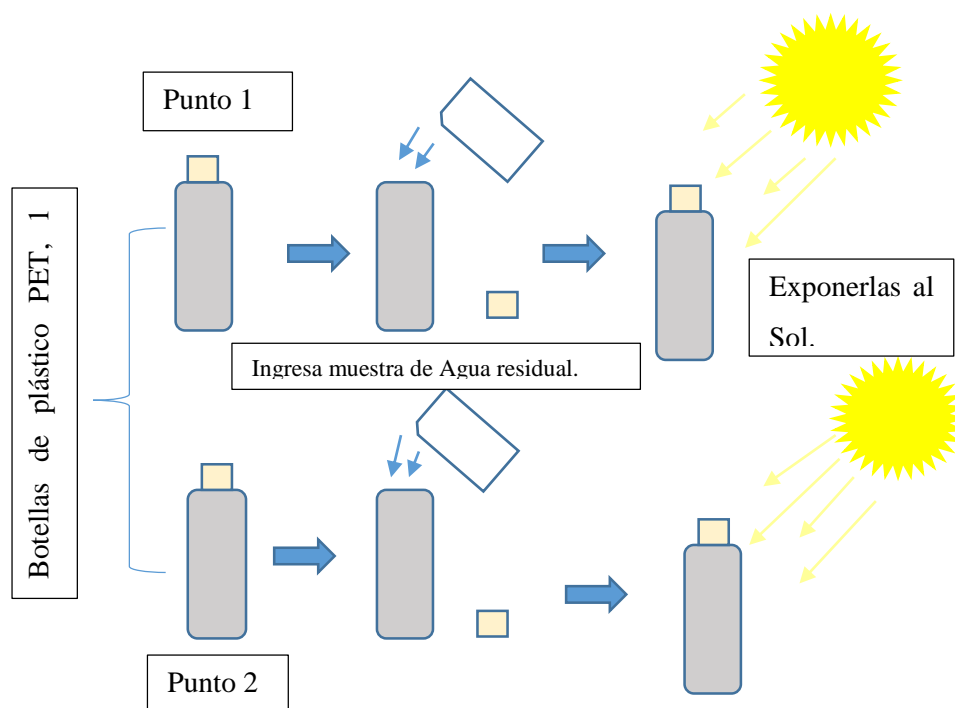
**2.7.1.1. Preparación de los requerimientos de fotocatálisis con luz solar y del método Dip – Coating.**

<b>EQUIPOS</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>
Baño Ultrasónico	Varillas de Vidrio	Dióxido de titanio
Balanza Analítica	Botellas PET	Agua desmineralizada
Estufa de Secado	Matraz de Aforo	Agua destilada
	Probeta	
	Bureta	
	Lija	
	Guantes.	
	Gafas.	
	Mandil.	

**2.7.1.2. Desarrollo de los procesos de fotocatálisis con luz solar y el método Dip-Coating para la reducción de coliformes en aguas residuales.**

**2.7.1.2.1. Procedimiento SODIS.**

- 1) Se verificó que las condiciones climáticas sean adecuadas para realizar SODIS.
- 2) Se utilizó dos botellas de plástico PET de 1 litro.
- 3) Se llenaron botellas PET con el agua residual (Se muestreó en dos puntos de desfogue distintos de la parroquia Ulba el punto de muestra 1 ubicado en la propiedad de la Sra. Leonila Moreno Vicepresidenta del GAD Parroquial de Ulba; el punto de muestra 2 se encontró ubicado en el sector Guairapungo por la entrada a Verde Chico propiedad del Ing. Carlos Sánchez.
- 4) Se sellaron las botellas.
- 5) Se expusieron las botellas al sol.
- 6) Se realizó el conteo de coliformes fecales y totales: Placas Compact Dry EC



**Ilustración 2-2.** Imagen proceso SODIS.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

#### 2.7.1.2.2. Procedimiento SODIS/Dip – Coating.

##### a) Inmovilización del $\text{TiO}_2$ en varillas de vidrio aplicando Dip-Coating.

##### - Preparación de las varillas de vidrio:

Se pesaron 22 varillas de vidrio boro silicato de 6 mm para proceder a su raspado y lavado con la finalidad de incrementar la rugosidad de su superficie. Continuando con la etapa de preparación de las varillas se dejó secar a  $70^\circ\text{C}$  durante 2 horas, al finalizar el tiempo de secado éstas fueron pesadas.

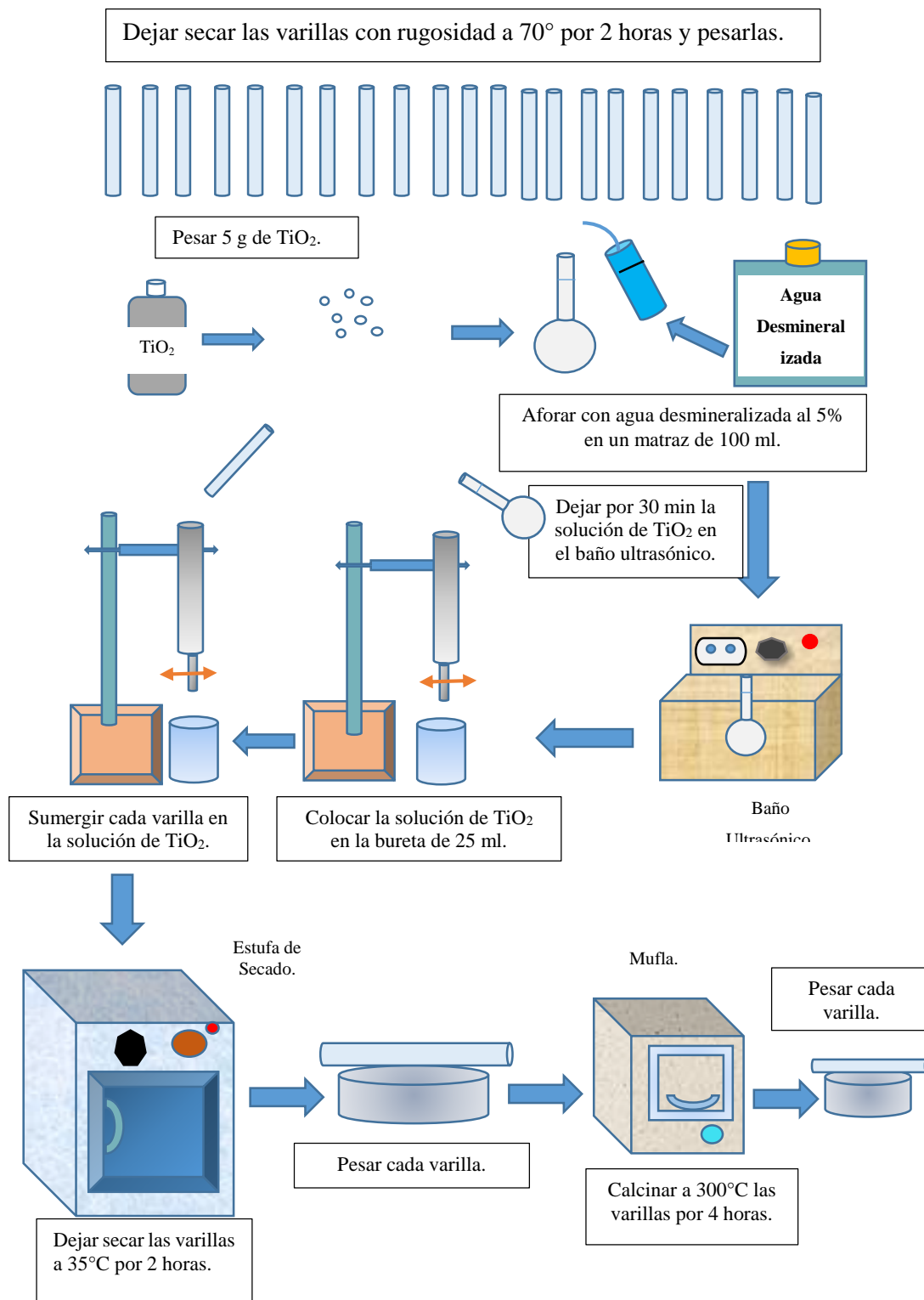
##### - Preparación de la solución de dióxido de titanio:

Se preparó 100 ml de una solución de dióxido de titanio con agua desmineralizada al 5% dispuesta en baño ultrasónico por 30 min.

##### - Disposición del dióxido de titanio en las varillas de vidrio:

Para asegurar que las varillas tengan una capa uniforme de dióxido de titanio, con la ayuda de una bureta de 25 ml se sumergió cada una de ellas en la solución preparada dejándolas secar a  $35^\circ\text{C}$  por 2 horas y repitiendo este proceso hasta por 12 veces para lograr el espesor de la capa del

catalizador adecuado. El recubrimiento obtenido en las varillas fue calcinado en un horno a 300 °C durante 4 horas. Al finalizar con la inmovilización del  $\text{TiO}_2$  en las varillas de vidrio mediante Dip-Coating se procedió a tomar el peso final de cada una de las varillas empleadas en el proceso.



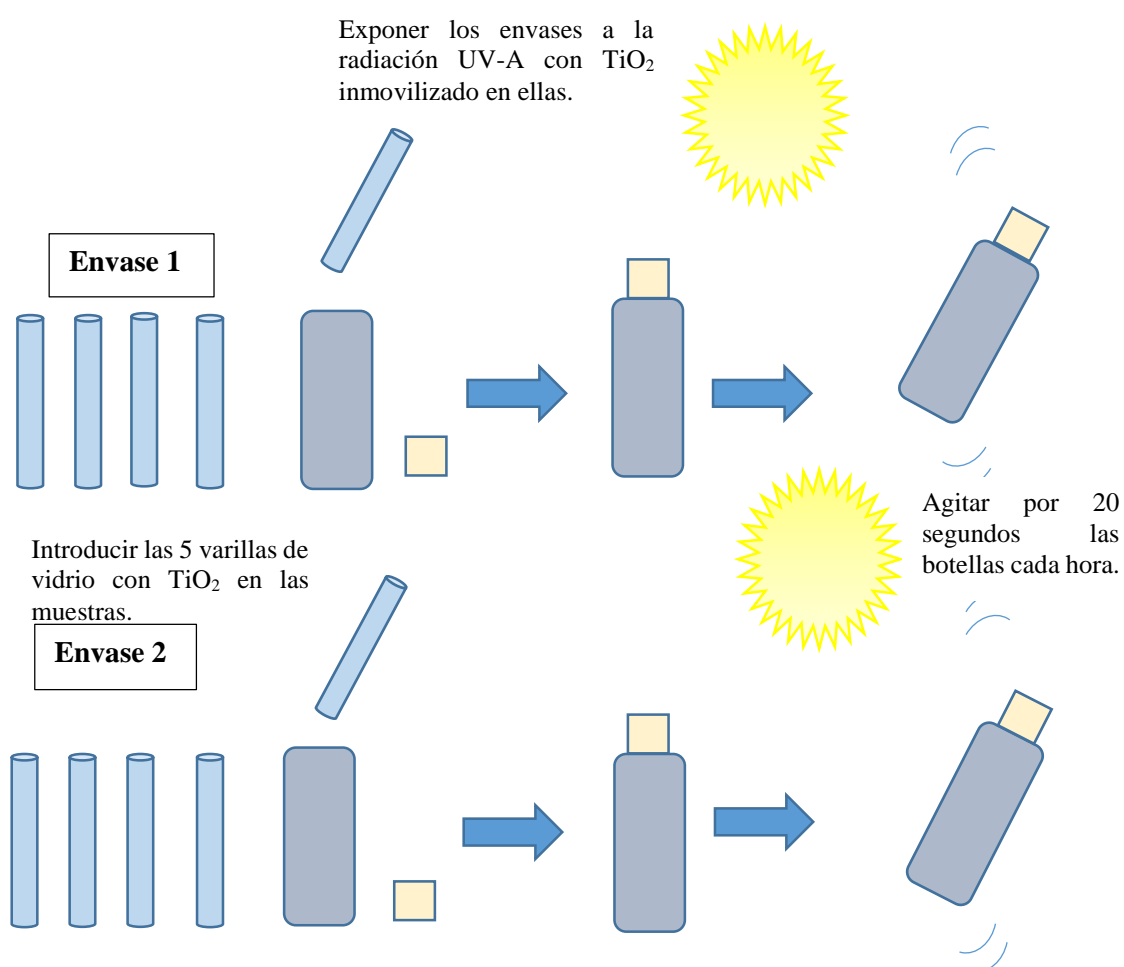
**Ilustración 3-2.** Imagen de la inmovilización del  $\text{TiO}_2$  en varillas de vidrio

Realizado por: Erika Daniela Castillo Hidalgo.

b) Desinfección por radiación solar empleando Dip-Coating.

Las muestras de agua residual para éste método fueron dispuestas en dos botellas de plástico PET selladas y agitadas durante 1 minuto.

Cinco varillas de vidrio de boro silicato de 6 mm inmovilizadas previamente con  $\text{TiO}_2$  se introdujeron en cada uno de los envases exponiéndolas en reposo a radiación UV-A (luz solar) por un lapso promedio de 60 minutos. Posterior a este tiempo los envases se agitaron durante 20 segundos para obtener una muestra de cada una de ellas, y seguidamente se realizaron sus correspondientes análisis físicos químicos y microbiológicos.



**Ilustración 4-2.** Imagen del proceso SODIS/Dip-Coating.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

### *2.7.1.3. Reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.*

Para la determinación, cuantificación y diferenciación de coliformes se empleó un procedimiento seguro con placas Compact Dry EC compuestas por dos sustratos enzimáticos cromógenos que son: Magenta-GAL y X-Gluc. (BIOHIDRICA , 2017).

Para cada uno de los envases PET utilizados tanto en el método SODIS y SODIS/Dip COATING se prepararon 3 disoluciones ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ) con agua de peptona en tubos de ensayo que fueron homogenizados y de los cuales se extrajeron 1ml de muestra para el análisis microbiológico: cuantificación de coliformes totales y fecales en placas Compact Dry EC incubadas 24 horas a 35°C.

## **2.8. Análisis estadístico.**

### **2.8.1. Prueba de Kruskal-Wallis.**

Se realizó la prueba de Kruskal - Wallis ya que se quería conocer cuál proceso fotocatalítico redujo la mayor cantidad de coliformes presentes en las aguas residuales.

### **2.8.2. Prueba T.**

Fue realizada la prueba T ya que se quería verificar los valores observados con los esperados de acuerdo a la hipótesis nula.

### CAPÍTULO III.

#### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

##### 3.1. Fotocatálisis con luz solar y el método Dip-coating para la reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.

###### 3.1.1. *Preparación de los requerimientos de fotocatálisis con luz solar y del método Dip-Coating.*

Las varillas de vidrio de borosilicato de 6mm comúnmente conocidas como varillas de agitación pyrex fueron empleadas en el proceso SODIS/Dip-Coating debido a su capacidad para resistir temperaturas elevadas. Se obtuvieron 22 varillas de vidrio inmovilizadas con  $\text{TiO}_2$  dispuestas en dos envases PET selladas y agitadas para ser expuestas a la radiación UV-A y distinguir la efectividad de ambos procesos.

Debido a la ubicación y complejidad para el muestreo de los puntos de descarga de agua residual con desembocadura al embalse Agoyán se tomaron cuatro litros de muestras representativas para aplicarlas en los procesos SODIS y SODIS/Dip-Coating respectivamente dispuestas en cuatro envases de plástico PET de un litro por su capacidad para mantener la temperatura emitida por la radiación UV-A en intervalos de tiempos distintos. El volumen empleado fue considerado el apropiado según las condiciones de aplicabilidad y costo-beneficio.

El dióxido de titanio fue adquirido en casas comerciales pertinentes y se empleó en el proceso a un bajo costo. La radiación ultravioleta natural utilizada fue la UV-A y en menor proporción la UV-B, puesto que la radiación UV-C fue retenida directamente en la atmósfera. Así, la radiación UV-A dotó de la energía suficiente para que el dióxido de titanio se active en el proceso fotocatalítico.

###### 3.1.2. *Desarrollo de los procesos de fotocatálisis con luz solar y el método Dip-Coating para la reducción de coliformes en aguas residuales.*

Los análisis de las muestras tomados de cada envase se desarrollaron cada hora después de ser agitadas por 20 segundos, pues se requería evidenciar el resultado obtenido al



someterlas a una exposición solar en diferentes intervalos de tiempo y con base en revisión documentada previamente analizada.

Se realizaron tres diluciones ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ) debido a la densidad microbiana encontrada en los análisis microbiológicos.

### 3.1.3. Reducción de coliformes de aguas residuales del barrio la Ciénega con desembocadura en el embalse Agoyán.

#### 3.1.3.1. SODIS.

##### 3.1.3.1.1. Desinfección por radiación solar.

**Tabla 1-3.** Resultados del análisis microbiológico SODIS.

En la presente tabla se encuentran representados los valores adquiridos de coliformes fecales y totales presentes en cada una de las muestras después de ser expuestos a la radiación solar en intervalos de tiempo correspondiente al proceso fotocatalítico SODIS.

IDENTIFICACIÓN			LÍMITE MÁXIMO NMP/100 ml	SODIS	
TIPO DE COLIFORMES	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)		P1 NMP/100 ml	P2 NMP/100 ml
Fecales	0	18,1	2000	24000	24000
Totales			N/E	20850	19220
Fecales	60	26	2000	19200	19450
Totales			N/E	19800	18635
Fecales	120	30	2000	18150	18350
Totales			N/E	18750	15812
Fecales	180	42	2000	17100	17200
Totales			N/E	17700	13000

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

Al someter las muestras a la radiación solar se obtuvo un resultado favorable a 180 minutos y 42 °C, el cual nos indica que en el punto 1 hubo 17100 NMP/100 ml de coliformes fecales y 17700 de coliformes totales NMP/100 ml; en el punto 2 hubo 17200 NMP/100 ml de coliformes fecales y 13000 de coliformes totales NMP/100 ml. Lo que a la vez se indica en la Gráfica 1-3.

3.1.3.1.2. SODIS después de 12 días.

**Tabla 2-3.** Conteo de coliformes después de 12 días aplicando SODIS.

En la tabla que antecede se encuentran representados los resultados obtenidos al realizar un análisis para identificar el número de coliformes fecales y totales presentes en las muestras del punto 1 y del punto 2 después de haber transcurrido 12 días de la aplicación del proceso fotocatalítico SODIS.

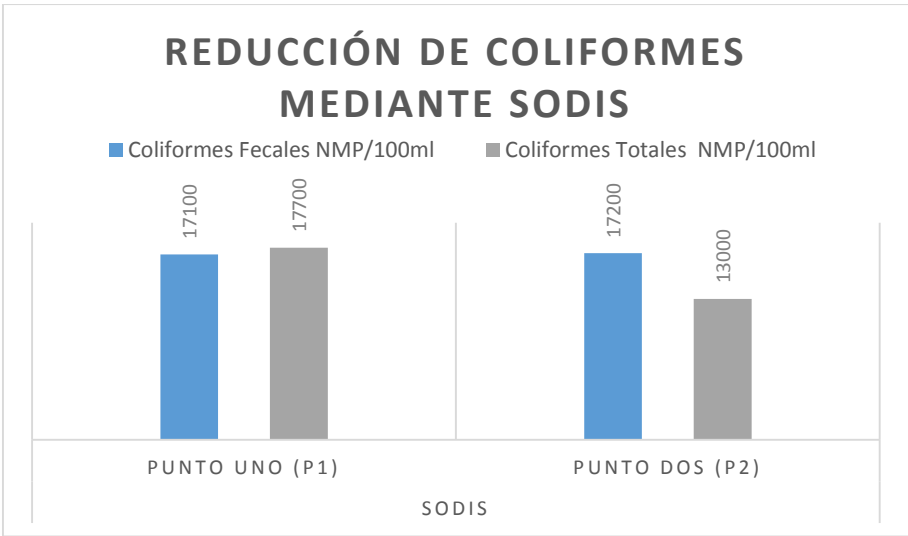
IDENTIFICACIÓN		LÍMITE MÁXIMO NMP/100ml	SODIS	
TIPO DE COLIFORMES	TIEMPO (días)		P1 NMP/1 00ml	P2 NMP/1 00ml
Fecales	12	2000	7000	2000
Totales	12	N/E	14000	11700

N/E: No establecido en la norma aplicada.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

Al haber transcurrido un período de 12 días se tuvo una menor cantidad de coliformes fecales y coliformes totales, lo que indica que al transcurrir el tiempo el proceso SODIS se reduce el número de coliformes en las diferentes muestras; destacando que el número de coliformes totales se reducen en términos intermedios considerando que esto pudo ser ocasionado debido a la ubicación en la que se encontraban las muestras. Lo que a la vez se indica en la Gráfica 2-3.

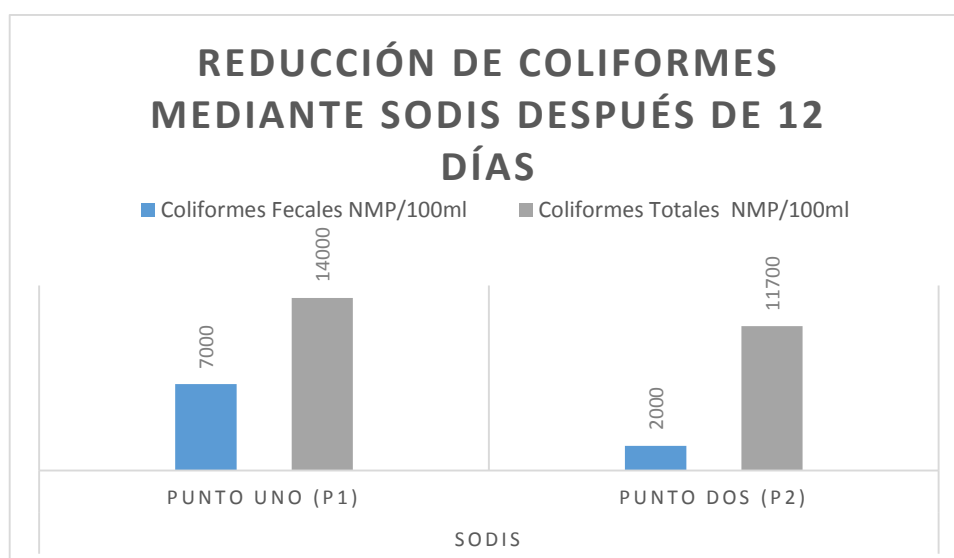
3.1.3.1.3. Verificación de la reducción de coliformes mediante SODIS.



**Gráfico 1-3.** Número de coliformes reducidas mediante SODIS.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

El gráfico nos indica que se redujeron coliformes fecales y coliformes totales tanto para el punto uno (P1) como para el punto dos (P2).

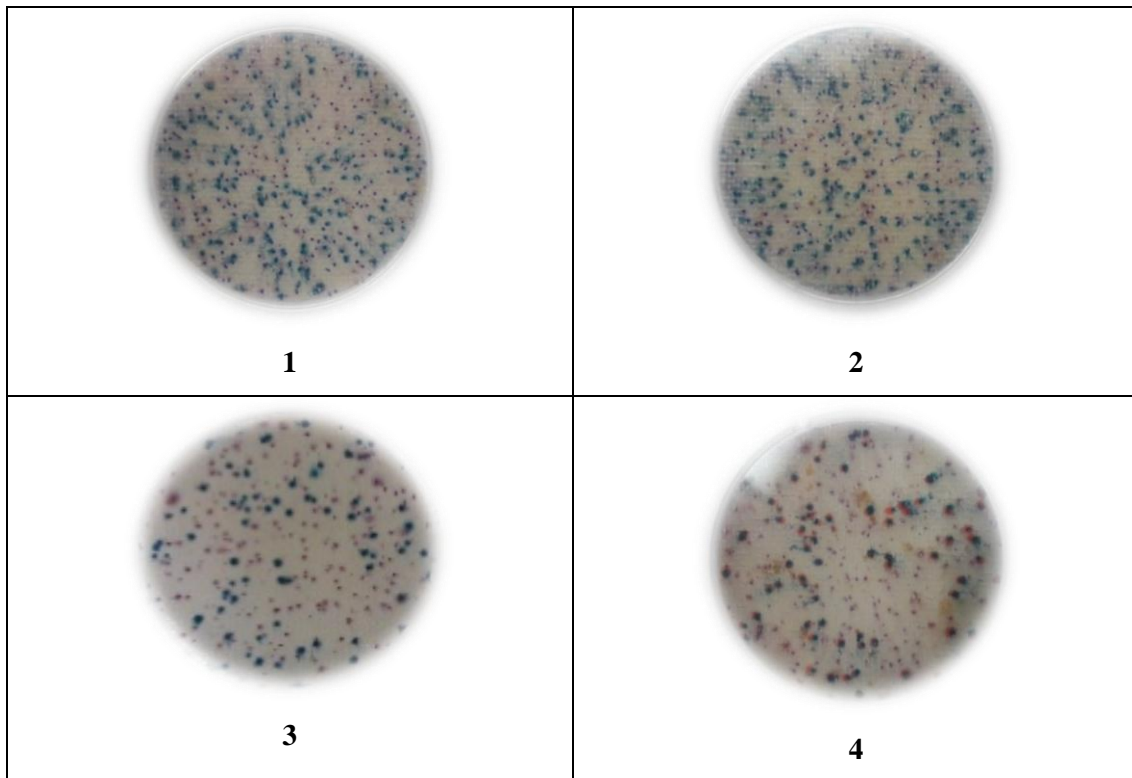


**Gráfico 2-3.** Número de coliformes mediante SODIS después de 12 días.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

El siguiente gráfico nos indica una reducción significativa de coliformes fecales después de 12 días de haber aplicado el proceso en ambos puntos de muestreo especialmente en el punto dos (P2) se puede identificar una reducción mayoritaria; esto pudo ser ocasionado debido a las condiciones climáticas y a la ubicación en la que se encontraban las muestras.

*3.1.3.1.4. Identificación del número de coliformes en las placas Compact Dry EC para SODIS.*



**Ilustración 1-3.** Identificación de coliformes SODIS.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

En los gráficos presentes se pueden diferenciar a los coliformes fecales que poseen coloración azul y a coliformes totales identificados por el color rojo; en la imagen 1 perteneciente al punto 1 de muestreo se pudieron observar coliformes fecales y totales aproximadamente en las mismas proporciones, en el punto 2 de muestreo (imagen 2) se pudo observar mayor cantidad coliformes fecales que de coliformes totales.

Al transcurrir 12 días, en el punto 1 (imagen 3) y en el punto 2 (imagen 4), se encontraron una reducción significativa de coliformes fecales y en menor cantidad coliformes totales; esto pudo ser producto de las condiciones climáticas y la ubicación en la que se encontraban las muestras.

### 3.1.3.2. SODIS/Dip-Coating.

#### 3.1.3.2.1. Inmovilización del $\text{TiO}_2$ en las varillas de vidrio (Dip-Coating).

**Tabla 3-3.** Inmovilización del dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en las varillas de vidrio.

En esta tabla se encuentran representados los valores adquiridos en cada repetición aplicada para inmovilizar dióxido de titanio en 22 varillas de vidrio mediante el método Dip-Coating. Al utilizar veinte y dos varillas de vidrio de boro silicato y realizar doce repeticiones del proceso en cada una de ellas para determinar su peso después de dos horas de actuar con el  $\text{TiO}_2$ , se obtuvieron los siguientes resultados:

N° de Varilla	Pi (g)	R1 (g)	R2 (g)	R3 (g)	R4 (g)	R5 (g)	R6 (g)	R7 (g)	R8 (g)	R9 (g)	R10 (g)	R11 (g)	R12 (g)
1	12,52	12,50	12,48	12,50	12,52	12,50	12,52	12,52	12,52	12,52	12,56	12,52	12,54
2	12,54	12,54	12,56	12,58	12,60	12,62	12,66	12,64	12,64	12,64	12,64	12,62	12,62
3	12,62	12,60	12,60	12,60	12,60	12,60	12,62	12,60	12,60	12,62	12,64	12,58	12,64
4	12,64	12,62	12,62	12,64	12,62	12,60	12,64	12,62	12,62	12,64	12,64	12,62	12,66
5	12,64	12,64	12,66	12,68	12,64	12,64	12,66	12,64	12,64	12,66	12,66	12,62	12,66
6	12,70	12,70	12,70	12,70	12,70	12,70	12,72	12,70	12,68	12,72	12,72	12,66	12,72
7	12,70	12,70	12,70	12,70	12,72	12,70	12,72	12,70	12,72	12,74	12,70	12,70	12,72
8	12,72	12,72	12,70	12,72	12,72	12,72	12,74	12,72	12,74	12,74	12,72	12,72	12,74
9	12,72	12,74	12,74	12,76	12,74	12,74	12,74	12,74	12,74	12,76	12,74	12,72	12,74
10	12,78	12,80	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,78	12,76	12,80	12,78	12,76	12,80
11	12,80	12,80	12,80	12,78	12,80	12,80	12,80	12,80	12,78	12,82	12,82	12,78	12,82
12	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,82	12,80	12,80	12,82	12,84	12,78	12,82
13	12,82	12,84	12,84	12,84	12,84	12,82	12,84	12,84	12,82	12,86	12,84	12,80	12,84
14	12,84	12,84	12,84	12,84	12,84	12,82	12,86	12,84	12,82	12,86	12,84	12,82	12,86
15	12,84	12,84	12,84	12,84	12,84	12,84	12,86	12,84	12,86	12,86	12,86	12,84	12,86
16	12,84	12,84	12,84	12,84	12,84	12,86	12,86	12,84	12,86	12,86	12,86	12,86	12,88
17	12,88	12,88	12,90	12,92	12,94	12,96	12,98	12,98	12,98	13,00	12,98	13,00	12,90
18	12,90	12,90	12,92	12,90	12,90	12,90	12,92	12,90	12,90	12,92	12,90	12,86	12,92
19	13,00	13,00	13,02	13,02	13,02	13,00	13,02	13,02	13,00	12,98	13,04	13,02	13,02
20	13,02	13,02	13,04	13,04	13,04	13,00	13,04	13,02	13,00	13,04	13,04	13,02	13,04
21	13,08	13,06	13,08	13,08	13,08	13,06	13,08	13,08	13,08	13,10	13,08	13,04	13,10
22	13,08	13,10	13,10	13,08	13,10	13,10	13,10	13,10	13,12	13,10	13,10	13,10	13,12

Realizado por: Erika Daniela Castillo Hidalgo.

La variación de los pesos en las varillas es consecuencia de aspectos como: su origen, varillas sometidas a un proceso de secado en horno (35 °C) y a su vez a causa del lavado con agua destilada, ocasionando que partículas de  $\text{TiO}_2$  se vayan adhiriendo en proporciones distintas en cada una de ellas. Sin embargo, estos resultados no han variado significativamente.

**Tabla 4-3.** Peso final de las varillas de vidrio con dióxido de titanio inmovilizado en ellas.

En la presente tabla se encuentran representados los resultados adquiridos al finalizar la inmovilización de dióxido de titanio en las 22 varillas mediante Dip-Coating.

N° de Varilla	Peso de la varilla con rugosidad (g)	Longitud de la varilla (cm)	Diámetro de la varilla (mm)	Peso de TiO <sub>2</sub> en g	Peso final de la varilla (g)
1	12,52	20	6	0,02	12,54
2	12,54	20	6	0,08	12,62
3	12,62	20	6	0,02	12,64
4	12,64	20	6	0,02	12,66
5	12,64	20	6	0,02	12,66
6	12,70	20	6	0,02	12,72
7	12,70	20	6	0,02	12,72
8	12,72	20	6	0,02	12,74
9	12,72	20	6	0,02	12,74
10	12,78	20	6	0,02	12,80
11	12,80	20	6	0,02	12,82
12	12,80	20	6	0,02	12,82
13	12,82	20	6	0,02	12,84
14	12,84	20	6	0,02	12,86
15	12,84	20	6	0,02	12,86
16	12,84	20	6	0,04	12,88
17	12,88	20	6	0,02	12,90
18	12,90	20	6	0,02	12,92
19	13,00	20	6	0,02	13,02
20	13,02	20	6	0,02	13,04
21	13,08	20	6	0,02	13,10
22	13,08	20	6	0,04	13,12

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

Adquiriendo una relación del peso adherido de dióxido de titanio a las 22 varillas de vidrio, se obtuvo del total antes mencionado, una adhesión de 0,04 gramos en la varilla número 22 y número 16; teniendo un resultado sobresaliente en la varilla número 2 en la que su adhesión fue de 0.08 gramos.

**Tabla 5-3.** Varillas de vidrio con dióxido de titanio seleccionadas al azar, de acuerdo al peso final adquirido para someterlas al proceso SODIS/Dip-Coating.

En la tabla que antecede se indica el número de varillas de vidrio inmovilizadas con dióxido de titanio, las cuales se han seleccionado al azar, obteniendo en todas las varillas el mismo peso de adhesión del reactivo indicado.

N° de Varilla	Peso final de la varilla (g).	Longitud de la varilla (cm).	Diámetro de la varilla (mm).	Peso de TiO <sub>2</sub> (g).	Peso varilla TiO <sub>2</sub> después de 12 días
<b>Punto de muestreo 1 (P1).</b>					
1	12,7481	20	6	0,02	12,7482
2	12,7512	20	6	0,02	12,7612
3	12,7623	20	6	0,02	12,7801
4	12,7753	20	6	0,02	12,8002
5	12,8212	20	6	0,02	12,8213
<b>Punto de muestreo 2 (P2).</b>					
6	12,8404	20	6	0,02	12,8404
7	12,8790	20	6	0,02	12,8801
8	12,9396	20	6	0,02	12,9400
9	13,1143	20	6	0,02	13,1201
10	13,1375	20	6	0,02	13,1400

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

De las 22 varillas sometidas al tratamiento se tomaron 10 varillas al azar, en las cuales el peso de adhesión fue de 0,02 gramos obteniendo como resultado un peso equitativo de TiO<sub>2</sub> entre ellas. Las varillas inmovilizadas con dióxido de titanio generalmente mantuvieron el mismo peso, no existió pérdida del reactivo.

### 3.1.3.2.2. Desinfección por radiación solar empleando Dip-Coating.

**Tabla 6-3.** Resultados del análisis microbiológico de SODIS/TiO<sub>2</sub>

En la presente tabla se encuentran representados los valores adquiridos de coliformes fecales y coliformes totales presentes en cada una de las muestras después de ser expuestos a la radiación solar con intervalos de tiempo correspondiente al proceso fotocatalítico SODIS/Dip-Coating.

IDENTIFICACIÓN			LÍMITE MÁXIMO (NMP/100 ml)	SODIS/Dip-Coating.	
TIPO DE COLIFORMES	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)		P1 (NMP/100 ml)	P2 (NMP/100 ml)
Fecales	0	18,1	2000	24000	24000
Totales			N/E	20850	19220
Fecales	60	26	2000	13950	13475
Totales			N/E	17235	15470
Fecales	120	30	2000	6150	9225
Totales			N/E	14620	13110
Fecales	180	42	2000	3900	100
Totales			N/E	12500	1100

N/E: No establecido en la norma aplicada.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

Al someter las muestras a la radiación solar se obtuvo un resultado favorable a 180 minutos y 42 °C, que indicó que en el punto 1 hubieron 3900 NMP/100 ml de coliformes fecales y 12500 de coliformes totales NMP/100 ml; mientras que en el punto 2 hubieron 100 NMP/100 ml de coliformes fecales y 1100 de coliformes totales NMP/100 ml; donde esta última presentó un menor crecimiento microbiano en los rangos de temperatura y tiempo establecidos. Lo que a la vez se indica en la Gráfica 3-3.



### 3.1.3.2.3. Desinfección por radiación solar empleando Dip-Coating después de 12 días.

**Tabla 7-3.** Conteo de coliformes después de 12 días de aplicación de SODIS/Dip-Coating.

En esta tabla se encuentran representados los resultados obtenidos al realizar un análisis para identificar el número de coliformes fecales y totales de las muestras del punto 1 y del punto 2 después de 12 días de haber aplicado el proceso SODIS/Dip-Coating.

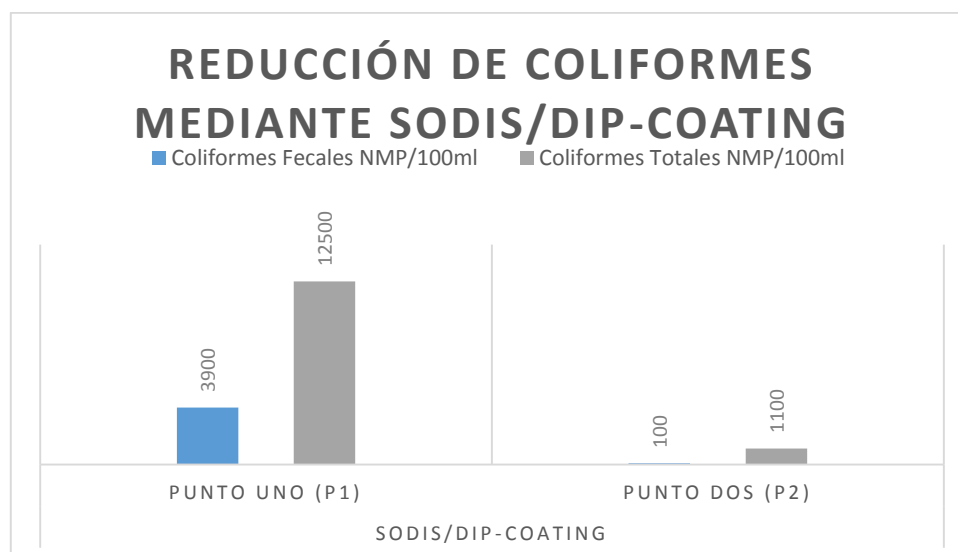
IDENTIFICACIÓN		LÍMITE MÁXIMO (NMP/100 ml)	SODIS/TiO <sub>2</sub>	
TIPO DE COLIFORMES	TIEMPO (días)		P1 (NMP/100 ml)	P2 (NMP/100 ml)
Fecales	12	2000	100	100
Totales	12	N/E	300	1000

N/E: No establecido en la norma aplicada.

Realizado por: Erika Daniela Castillo Hidalgo

Al haber transcurrido un período de 12 días la cantidad de coliformes fecales y coliformes totales en el proceso disminuyó, indicando con esto la efectividad del proceso SODIS/Dip-Coating en el tiempo. Lo que a la vez se indica en la Gráfico 4-3.

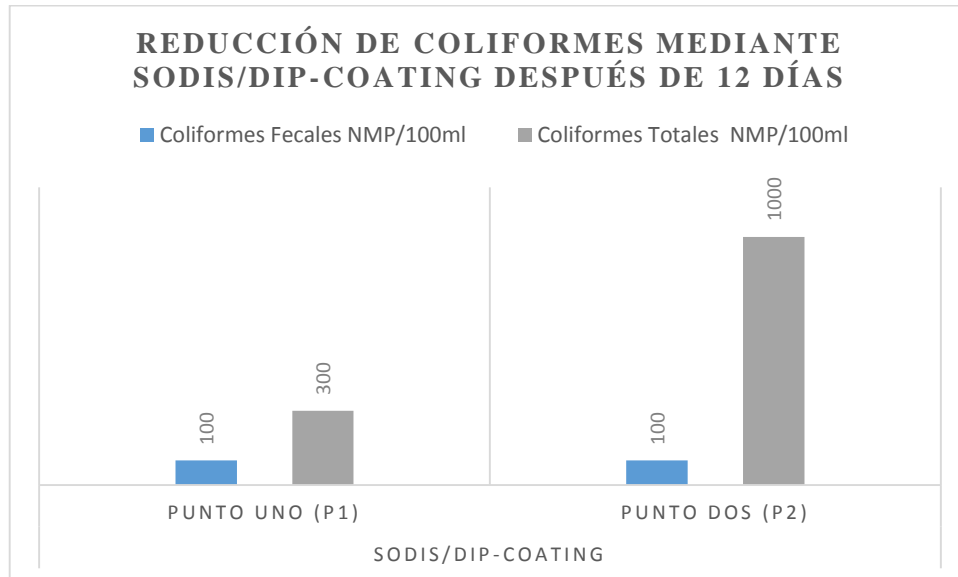
### 3.1.3.2.4. Verificación de la reducción de coliformes mediante SODIS/Dip-Coating.



**Gráfico 3-3.** Número de coliformes reducidas mediante SODIS/ Dip – Coating.

Realizado por: Erika Daniela Castillo Hidalgo.

Se evidenció una reducción significativa para los dos puntos de muestreo, pero en el punto dos (P2) existió una reducción mayor de coliformes fecales y coliformes totales en comparación con el punto uno (P1); esto pudo ocurrir por la ubicación en la que se encontraban las muestras

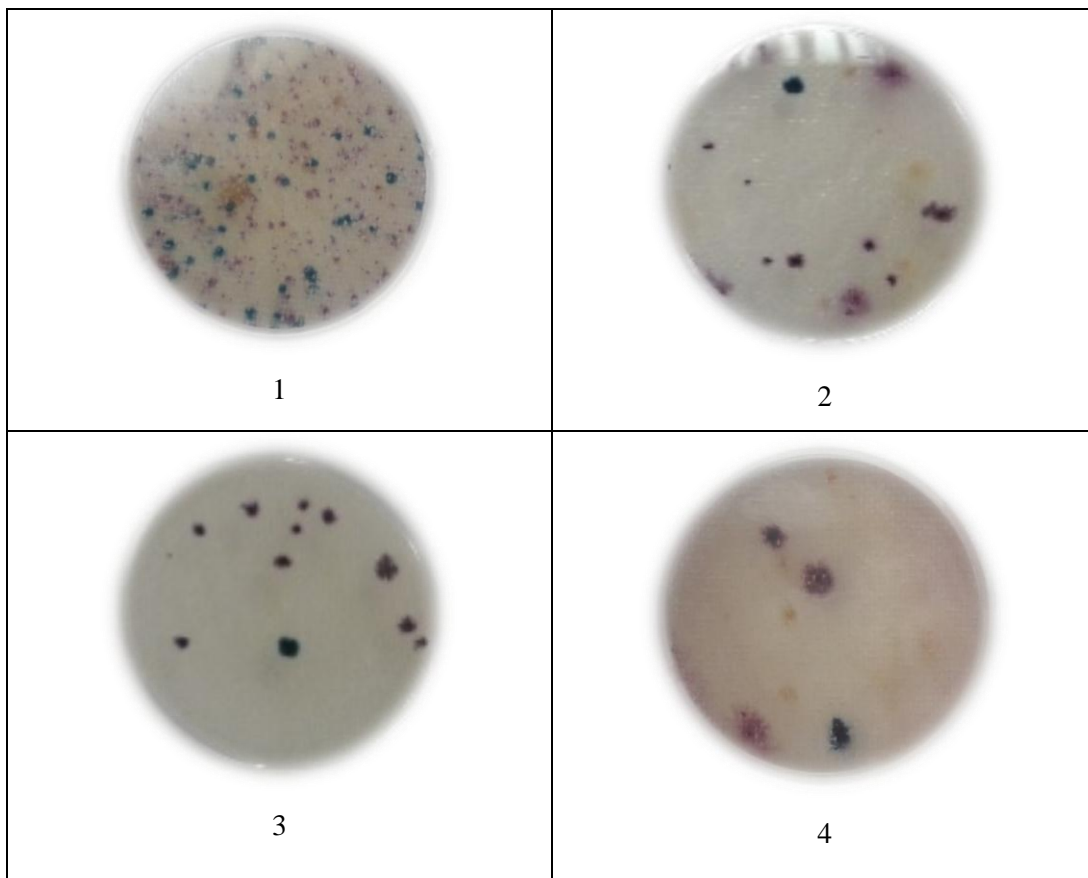


**Gráfico 4-3.** Número de coliformes mediante SODIS/ Dip - Coating después de 12 días.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

Existió una reducción significativa en el punto uno (P1) después de 12 días de aplicado el proceso, en cambio en el punto dos (P2) los valores se mantuvieron constantes.

3.1.3.2.5. *Identificación del número de coliformes en las placas Compact Dry EC para SODIS/Dip-Coating.*



**Ilustración 2-3.** Identificación de coliformes SODIS/Dip-Coating.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

En los gráficos presentes se pueden diferenciar a los coliformes fecales con color azul y coliformes totales identificados por el color rojo; en la imagen 1 se puede observar una mayor cantidad de coliformes totales, en el punto 2 (imagen 2) se pudo observar la reducción de coliformes fecales con mayoritaria presencia de coliformes totales.

Al transcurrir 12 días, en el punto 1 (imagen 3) se encontró una reducción significativa de coliformes fecales, en el punto 2 (imagen 4) existió una reducción significativa tanto en coliformes fecales como en coliformes totales, pero destacando que la reducción principal fue en coliformes fecales.

### 3.2. Análisis estadístico.

#### 3.2.1. Prueba de Kruskal-Wallis para SODIS.

**Tabla 8-3.** Rangos para Kruskal-Wallis.

Rangos		
	TIEMPO_EXPOSICI ÓN	N
COLIFORMES_SOD IS	0	4
	60	4
	120	4
	180	4
	Total	16

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

En la primera columna se ubican la información de coliformes con SODIS así como el tiempo de exposición, en la segunda columna el número de casos válidos.

**Tabla 9-3.** Prueba de Kruskal-Wallis.

#### Estadísticos de contraste<sup>a,b</sup>

	COLIFORME S_SODIS
Chi-cuadrado	12,216
gl	3
Sig. asintót.	,007

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:

TIEMPO\_EXPOSICIÓN

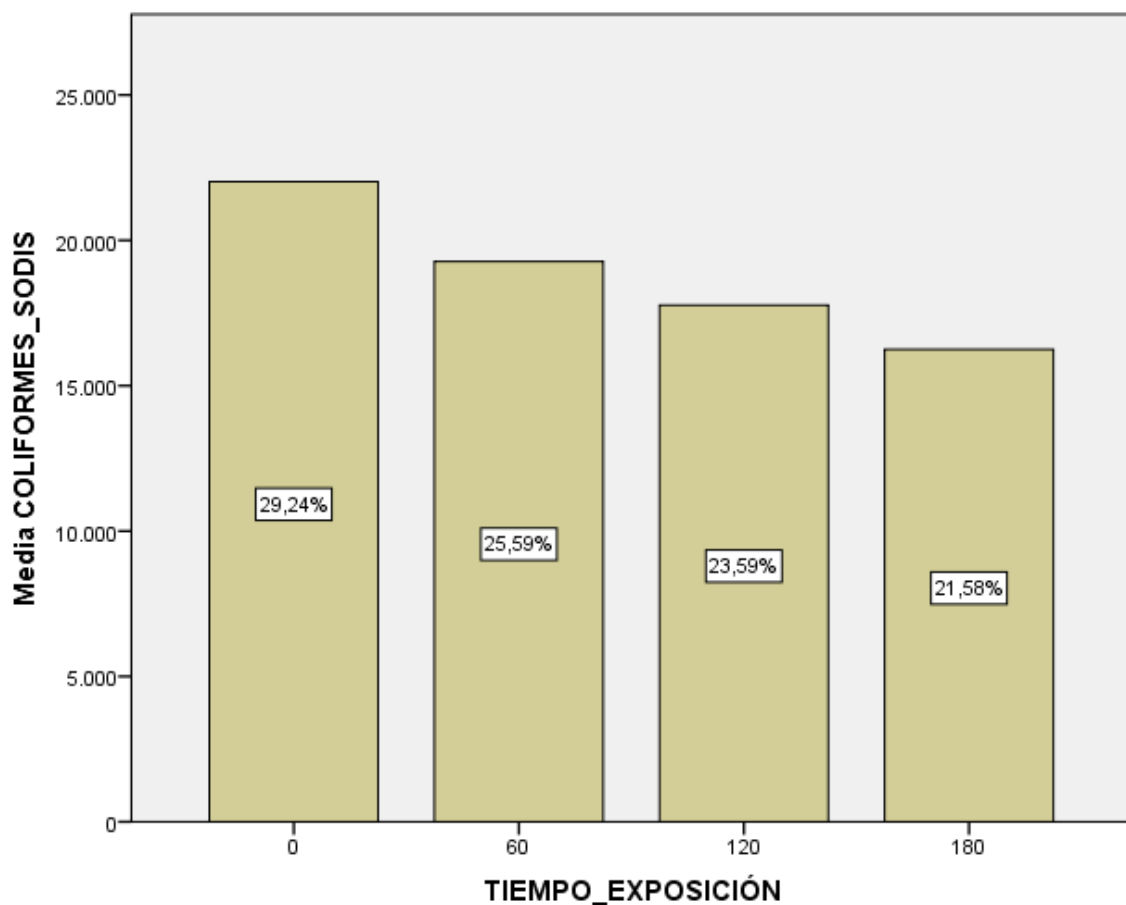
**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

## PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

**Ho:** No existen diferencias en la concentración de coliformes por efecto del tiempo de exposición cuando  $P \geq 0,05$ .

**Hi:** Existen diferencias en la concentración de coliformes por efecto del tiempo de exposición cuando  $P < 0,05$ .

**Decisión:** Como  $P=0,007$  se desecha la hipótesis nula acogiendo a la del investigador, por tanto, existen diferencias en la concentración de coliformes por efecto del tiempo de exposición.



**Ilustración 3-3.** Número de coliformes mediante SODIS en relación al tiempo de exposición.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

El gráfico anterior muestra en el eje de las abscisas el tiempo de exposición expresado en minutos (min) y en el eje de las ordenadas el número de coliformes reducidas expresadas en (NMP/100ml) en el cual se empleó el método SODIS para reducir coliformes de las aguas residuales del barrio la Ciénega perteneciente a la parroquia Ulba del cantón Baños de Agua Santa. Las barras representan el porcentaje de reducción existente entre el número de coliformes y el tiempo de

exposición como resultado de la aplicación del método SODIS. Obteniendo un resultado medianamente favorable a 180 minutos de exposición.

### 3.2.2. Prueba de Kruskal-Wallis para SODIS/Dip-Coating.

**Tabla 10-3.** Rangos para Kruskal-Wallis.

Rangos		
	TIEMPO_EXPOSICIÓN	N
COLIFORMES_SODIS_TiO2	0	4
	60	4
	120	4
	180	4
	Total	16

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

En la primera columna se ubican la información de coliformes con SODIS/Dip-Coating así como el tiempo de exposición, en la segunda columna el número de casos válidos.

**Tabla 11-3.** Prueba de Kruskal-Wallis.

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>	
	COLIFORMES_SODIS_TiO2
Chi-cuadrado	12,813
gl	3
Sig. asintót.	,005

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación:

TIEMPO\_EXPOSICIÓN

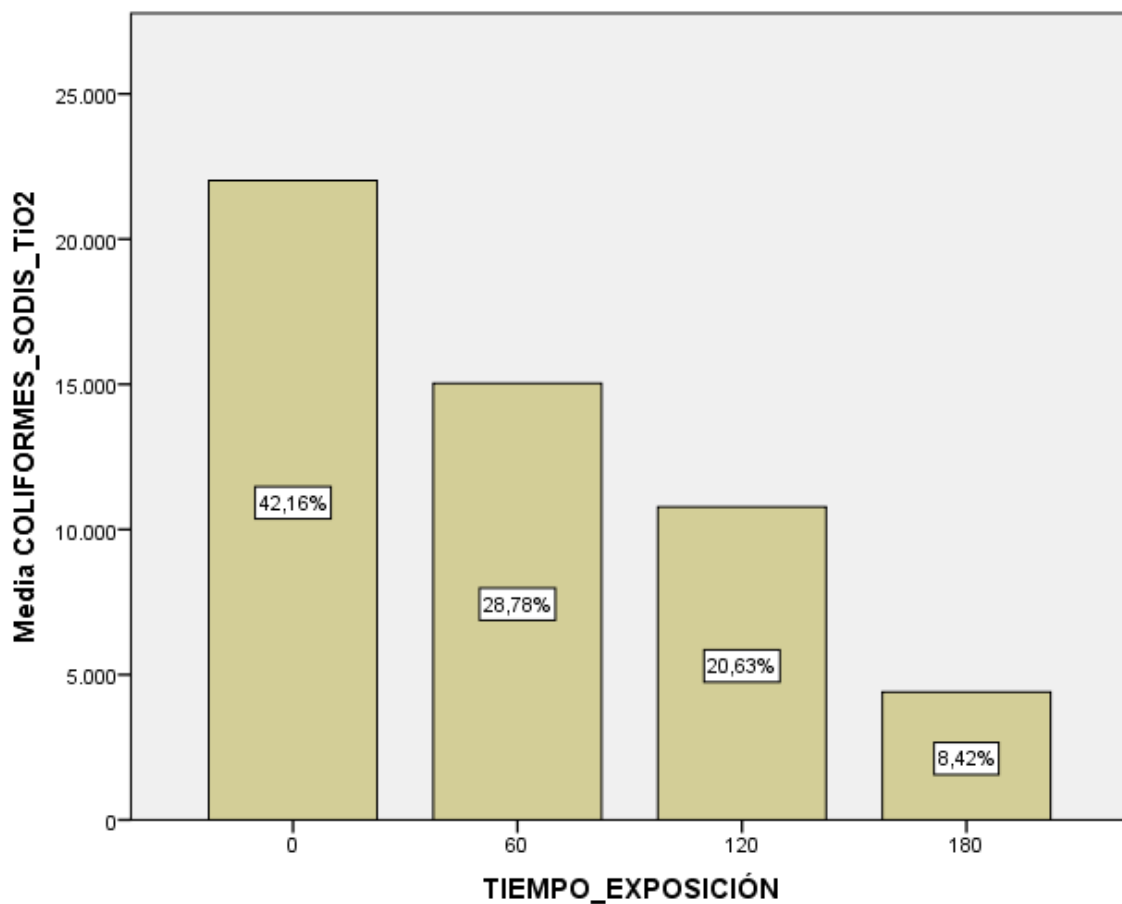
**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

## PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.

**Ho:** No existen diferencias en la concentración de coliformes por efecto del tiempo de exposición cuando  $P \geq 0,05$ .

**Hi:** Existen diferencias en la concentración de coliformes por efecto del tiempo de exposición cuando  $P < 0,05$ .

**Decisión:** Como  $P=0,005$  se desecha la hipótesis nula acogiendo a la del investigador, por tanto, existen diferencias en la concentración de coliformes por efecto del tiempo de exposición.



**Ilustración 4-3.** Número de coliformes mediante SODIS/Dip-Coating en relación al tiempo de exposición.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

El gráfico anterior muestra en el eje de las abscisas el tiempo de exposición expresado en minutos (min) y en el eje de las ordenadas el número de coliformes reducidas expresadas en (NMP/100ml) en el cual se empleó el método SODIS/Dip-Coating para reducir coliformes de las aguas

residuales del barrio la Ciénega perteneciente a la parroquia Ulba del cantón Baños de Agua Santa. Las barras representan el porcentaje de reducción existente entre el número de coliformes y el tiempo de exposición como resultado de la aplicación del método SODIS/Dip-Coating, obteniendo un resultado favorable a 180 minutos.

### 3.2.3 Prueba T.

**Tabla 12-3.** Estadísticos de grupo para la prueba T.

	Resumen	N	Media	Desviación típ.
Compila_valores	Antes	8	14066,3125	6120,20698
	Después	8	4525,0000	5646,68044

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

En la primera columna se ubican la información de compilación de valores del número de coliformes existentes antes y después de la aplicación de los procesos SODIS y SODIS/Dip-Coating, en la segunda columna el número de casos válidos, en la tercera y cuarta columna se encuentra los valores de la media y la desviación típica.

**Tabla 13-3.** Prueba de muestras independientes.

#### Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Compila_valores	Se han asumido varianzas iguales	,006	,942	3,241	14	,006	9541,31250	2944,10287	3226,83986	15855,78514
	No se han asumido varianzas iguales			3,241	13,910	,006	9541,31250	2944,10287	3223,01268	15859,61232

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.



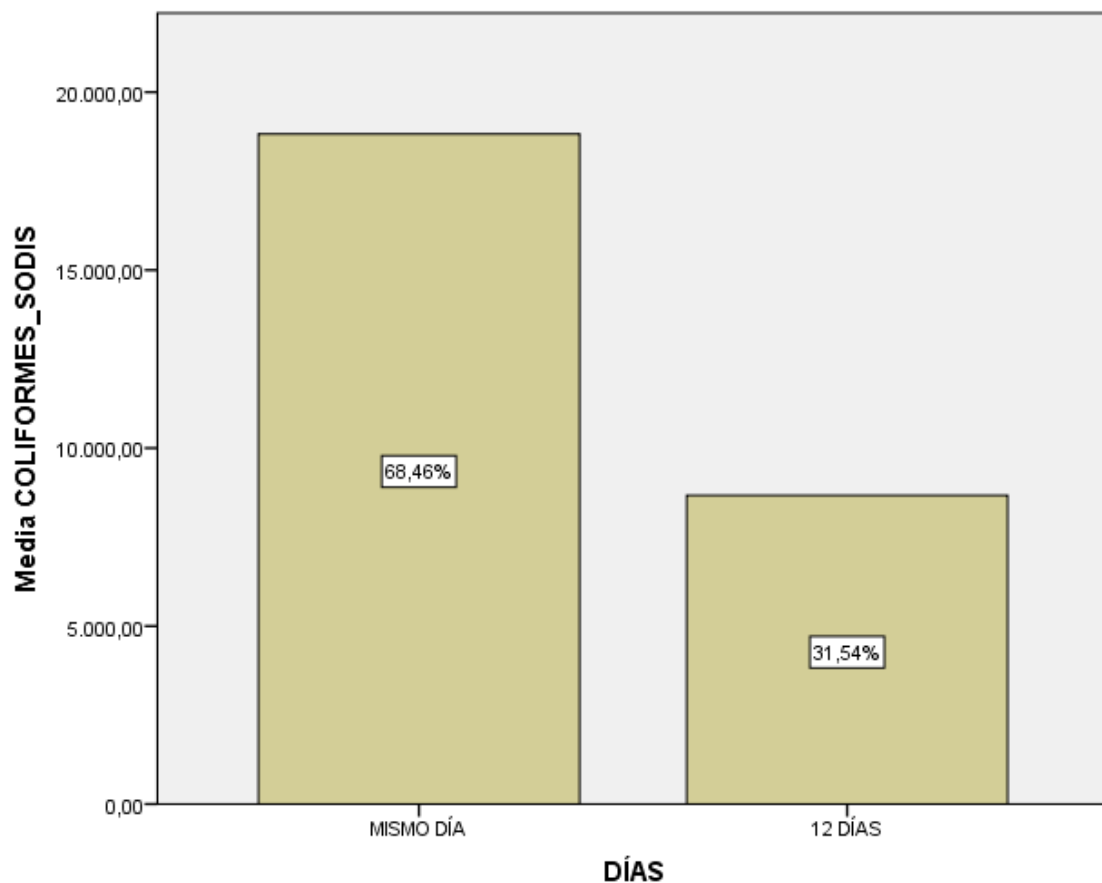
## PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.

**Ho:** No existen diferencias en la concentración de coliformes en los momentos antes y después con un  $P \geq 0.05$ .

**Hi:** Existen diferencias en la concentración de coliformes en los momentos antes y después con un  $P < 0.05$ .

### Decisión.

Como  $P > 0.05$ , se desecha la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo tanto, existen diferencias en la concentración de coliformes en los momentos antes y después.

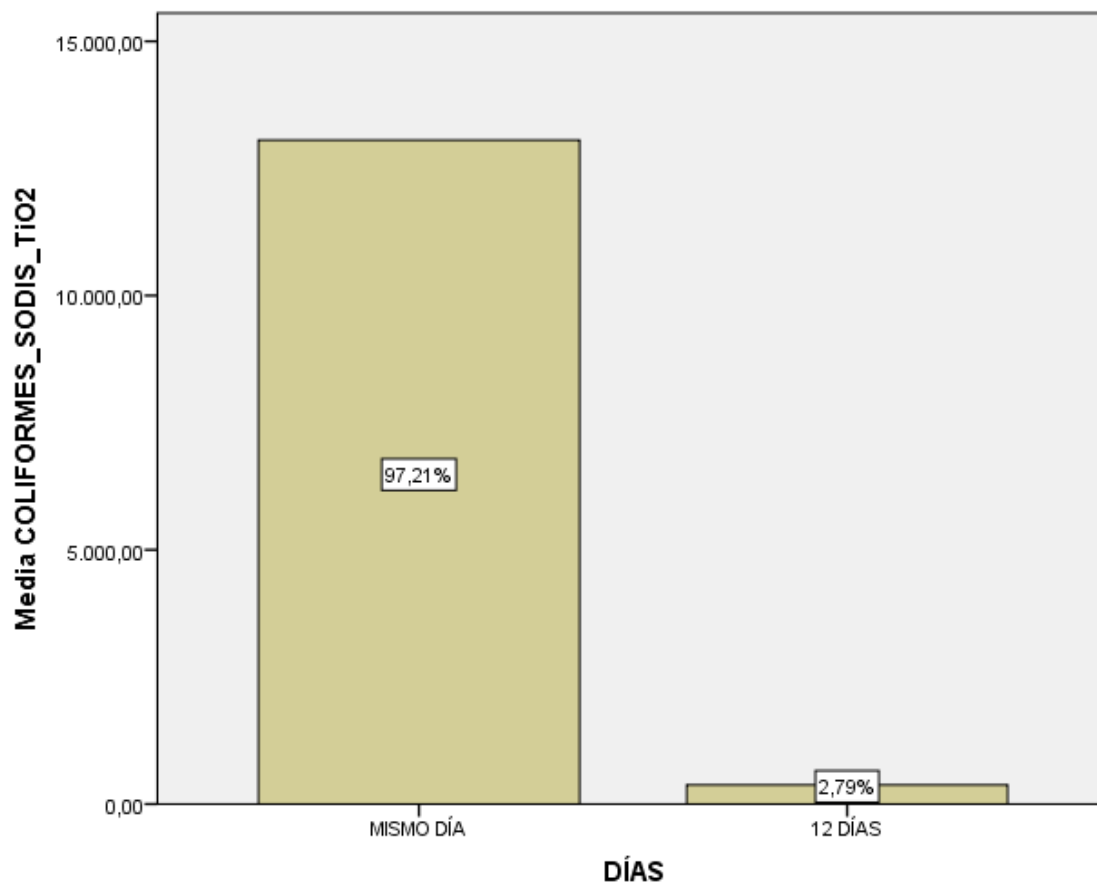


**Ilustración 5-3.** Número de coliformes mediante SODIS después de 12 días.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

El gráfico anterior muestra en el eje de las abscisas el tiempo expresado en días (d) y en el eje de las ordenadas el número de coliformes expresadas en (NMP/100ml) en el cual se empleó el método SODIS para reducir coliformes de aguas residuales. Las barras representan el porcentaje

existente entre el número de coliformes medidos el mismo día, así como los resultados del monitoreo luego de 12 días de haber aplicado el proceso SODIS.



**Ilustración 6-3.** Número de coliformes mediante SODIS/Dip-Coating después de 12 días.

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

El gráfico anterior muestra en el eje de las abscisas el tiempo expresado en días (d) y en el eje de las ordenadas el número de coliformes expresadas en (NMP/100ml) en el cual se empleó el método SODIS/Dip-Coating para reducir coliformes de aguas residuales. Las barras representan el porcentaje existente entre el número de coliformes medidos el mismo día, así como los resultados del monitoreo luego de 12 días de haber aplicado el proceso SODIS/Dip-Coating.

## CONCLUSIONES.

- Los requerimientos para el proceso de fotocátalisis incluyeron análisis de laboratorio para la determinación de los números de coliformes totales y fecales de las muestras, así también se definieron equipos como la estufa y la mufla que permitieron la adhesión del dióxido de titanio en las 22 varillas de borosilicato (permiten soportar temperaturas elevadas) sea adecuado y a temperaturas controladas durante cada repetición; el baño ultrasónico permitió mantener la solución de dióxido de titanio y agua desmineralizada al 5% preparada homogénea por tiempo prolongado.
- De las cuatro unidades experimentales propuestas en el proceso metodológico y con base en el número de coliformes presentes y reducidas en las aguas residuales durante la aplicación de SODIS y SODIS/Dip-Coating las condiciones óptimas para el desarrollo del proceso fueron en el rango de 18.1 °C a 42 °C, tiempo de exposición 180 minutos, época del año: diciembre, incidencia de los rayos ultravioletas de la región A (UV-A) es la radiación ultravioleta natural que llega a la superficie terrestre con una longitud de onda comprendida entre 400 y 320 nm. Dichas condiciones determinaron que el proceso fotocatalítico con luz solar más óptimo sea SODIS/Dip-Coating; donde las coliformes se redujeron más rápidamente y en mayor proporción.
- Se evidenció una reducción significativa, sobretodo en la dilución  $10^{-3}$ , llegando a contabilizar para el caso de coliformes fecales en el P1: 3900 NMP/100ml y P2: 100 NMP/100ml; y para coliformes totales: P1: 12500 NMP/100ml y P2: 1100 NMP/100ml, a condiciones óptimas de tratamiento de 180 min a 42°C. Dichos resultados demostraron que bajo las condiciones expuestas y condiciones climáticas adecuadas se da el efecto de reducción máxima de coliformes fecales y totales en el mes de Diciembre del 2016. En cuanto al proceso de fotocátalisis con luz solar SODIS se pudo observar una reducción menor en comparación al otro proceso aplicado, llegando a contabilizar en el P1: 17100 NMP/100ml y P2: 17200 NMP/100ml de coliformes fecales; P1: 17700 NMP/100ml y P2: 13000 NMP/100ml de coliformes totales, bajo las mismas condiciones expuestas. El proceso de fotocátalisis con luz solar más adecuado para la reducción de coliformes fecales y totales de aguas residuales es SODIS/Dip-Coating.
- La eficiencia del proceso SODIS/ Dip-Coating para reducir coliformes fecales y coliformes totales de las aguas residuales desembocadas al embalse Agoyan por los moradores del barrio La Ciénega perteneciente a la parroquia Ulba del cantón Baños de

Agua Santa fue comprobada en este trabajo de titulación, pero sobre todo se logró conseguir con ello el aprovechamiento de tecnologías limpias para cumplir con el objetivo principal establecido para el desarrollo de este trabajo de titulación. Con ello no solo se promueve el tratamiento biotecnológico de las aguas residuales, sino que también se promueve el aprovechamiento de tecnologías limpias como lo es la energía solar acompañada de un reactivo como lo es el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) considerado un óxido natural del titanio.

## **RECOMENDACIONES.**

Se recomienda probar otras técnicas para la inmovilización del dióxido de titanio en las cuales también se obtengan resultados favorables.

Diseñar un sistema para procesos fotocatalíticos más sofisticados, para unidades experimentales.

Muestrear lugares que no pongan en riesgo al personal que va a llevar a cabo la investigación.

Se debería promover a instituciones públicas o privadas el uso de tecnologías limpias para el tratamiento de aguas residuales las cuales contienen coliformes.

## BIBLIOGRAFÍA.

- ACEVEDO DÁVILA, A.** (Abril de 2015). *DSpace JSPUI*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10366/3/CD-6165.pdf>
- ALONSO NORE, L. X., & POVEDA SANCHEZ, J. A.** (12 de 2008). *Pontificia Universidad Javeriana, Carrera de Microbiología Industrial*. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana, Carrera de Microbiología Industrial: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis230.pdf>
- ARANA, I., ORRUÑO, M., BARCINA, I., & UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO.** (s.f.). *Departamento Inmunología, Microbiología y Parasitología*. Obtenido de Universidad del País Vasco: [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/1654/mod\\_resource/content/1/Tema\\_1.\\_Diluciones\\_y\\_concentraciones.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/1654/mod_resource/content/1/Tema_1._Diluciones_y_concentraciones.pdf)
- AWAG/SANDEC.** (2002). *SODIS (Sauberes trinkwasser für alle)*. Obtenido de SODIS (Sauberes trinkwasser für alle): [http://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente\\_material/manual\\_s.pdf](http://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf)
- BANDALA, E., CORONA-VÁSQUEZ, B., GUI SAR, R., & USCANGA, M.** (Septiembre-Octubre de 2007). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/profile/Erick\\_Bandala/publication/228735624\\_Aplicacion\\_de\\_Procesos\\_Avanzados\\_de\\_Oxidacion\\_en\\_la\\_Desactivacion\\_Secuencial\\_de\\_Microorganismos\\_Resistentes\\_en\\_Agua/links/0deec5177d570e6c8a000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Erick_Bandala/publication/228735624_Aplicacion_de_Procesos_Avanzados_de_Oxidacion_en_la_Desactivacion_Secuencial_de_Microorganismos_Resistentes_en_Agua/links/0deec5177d570e6c8a000000.pdf)
- BANDALA, E., PELÁEZ, M., DIONYSIOU, D., GELOVER, S., GARCIA, J., & MACÍAS, D.** (4 de Octubre de 2006). *ScienceDirect*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/223164250\\_Degradation\\_of\\_24-dichlorophenoxyacetic\\_acid\\_24-D\\_using\\_cobalt-peroxymonosulfate\\_in\\_Fenton-like\\_process](https://www.researchgate.net/publication/223164250_Degradation_of_24-dichlorophenoxyacetic_acid_24-D_using_cobalt-peroxymonosulfate_in_Fenton-like_process)
- BIOHIDRICA, B.** (2017). *BIOHIDRICA (Biotecnologías del Agua Ltda)*. Obtenido de BIOHIDRICA (Biotecnologías del Agua Ltda.): [http://www.biohidrica.cl/ensayo\\_compactdry.htm](http://www.biohidrica.cl/ensayo_compactdry.htm)
- BOLTON, J.** (2001). *Ultraviolet applications handbook*. En J. Bolton, *Ultraviolet applications handbook*. Canada: Bolton Photosciences Inc.
- CIE, C.** (26 de Septiembre de 2013). *CIE Corporación para la investigación energética*. Obtenido de CIE Corporación para la investigación energética: [http://www.energia.org.ec/cie/?page\\_id=39](http://www.energia.org.ec/cie/?page_id=39)
- DATO SALUD, R.** (16 de 09 de 2014). Efectos para la salud de respirar agua residuales. *Rvista Dato Salud*. Obtenido de <http://www.datosalud.net/tag/aguas-residuales-y-salud/>

- DOMENECH, X., JARDIM, W., & LITTER, M.** (2004). *ResearchGate*. (S. B. CIEMAT (Blesa M.A., Ed.) Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/237764122\\_Procesos\\_avanzados\\_de\\_oxidacion\\_para\\_la Eliminacion\\_de\\_contaminantes](https://www.researchgate.net/publication/237764122_Procesos_avanzados_de_oxidacion_para_la Eliminacion_de_contaminantes)
- ESPIGARES GARCÍA, M., & PÉREZ LÓPEZ, J.** (1985). *Universidad de Granada, CIDTA*. Obtenido de Universidad de Salamanca, CIDTA: [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- GAD PAROQUIAL , U.** (2015). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (2015 – 2019)*. Recuperado el 16 de 05 de 2017, de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1865019340001\\_Diagn%C3%B3stico%20Ulba%20Ago15%20corrV2\\_17-08-2015\\_15-06-31.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1865019340001_Diagn%C3%B3stico%20Ulba%20Ago15%20corrV2_17-08-2015_15-06-31.pdf)
- GADM BAÑOS DE AGUA SANTA.** (15 de 11 de 2014). *DIAGNÓSTICO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA: Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (2014-2019)*. Obtenido de GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA. DIAGNÓSTICO DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA: Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (2014-2019): [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1860000480001\\_Diagn%C3%B3stico%20GADBAS%20VF\\_16-03-2015\\_03-31-23.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1860000480001_Diagn%C3%B3stico%20GADBAS%20VF_16-03-2015_03-31-23.pdf)
- GLAZE, W.** (1987). Drinking Water Treatment with Ozone. En W. Glaze, *Drinking Water Treatment with Ozone* (págs. 224-230). Environmental Science and Technology. Vol. 21.
- GLAZE, W., KWANG, J., & CHAPIN, D.** (1987). The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation. En *The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation* (págs. 335-352). OZONE SCIENCE AND ENGINEERING. Vol. 9. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/254218286\\_The\\_Chemistry\\_of\\_Water\\_Treatment\\_Processes\\_Involving\\_Ozone\\_Hydrogen\\_Peroxide\\_and\\_Ultraviolet\\_Radiation](https://www.researchgate.net/publication/254218286_The_Chemistry_of_Water_Treatment_Processes_Involving_Ozone_Hydrogen_Peroxide_and_Ultraviolet_Radiation)
- GUTIERREZ RICO, C., & RÓBLES DÁVILA, L.** (06 de 2008). *Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química e Ingeniería*. Obtenido de Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química e Ingeniería: [http://www.elaguapotable.com/DESINFECCI%C3%93N%20FOTOCATAL%3%8DTICA%20DEL%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20USANDO%20LUZ%20SOLAR%20Y%20DI%C3%93XIDO%20DE%20TITANIO%20\(TiO2\)%20INMOVILIZADO.pdf](http://www.elaguapotable.com/DESINFECCI%C3%93N%20FOTOCATAL%3%8DTICA%20DEL%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20USANDO%20LUZ%20SOLAR%20Y%20DI%C3%93XIDO%20DE%20TITANIO%20(TiO2)%20INMOVILIZADO.pdf)

- IBM, K.** (s.f.). *IBM, Kanowleddge Center*; . Obtenido de IBM, Kanowleddge Center;:  
[https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB\\_22.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/spss/base/idh\\_ttin.htm](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_22.0.0/com.ibm.spss.statistics.help/spss/base/idh_ttin.htm)
- IRELAND, & VALINIERKS.** (1992). *Mediciones rápidas de la concentración acuosa radicales hidroxilo en estado estacionario , HO \* sistema de flujo./Rapid measurements of aqueous hydroxyl radicals concentration in steady-state HO\*, Flux System.* Chemosphere 25.
- KIM G, JOSEPH R, & STEPHEN Q. .** (2004). *Photocatalytic Reaction: designing a Waste water remediation plant.* San Diego: University of California.
- RED IBEROAMERICANA DE POTABILIZACIÓN Y DEPURACIÓN.** (2011). *Tierra: Red Temática de Ciencias de la Tierra.* Obtenido de Tierra: Red Temática de Ciencias de la Tierra: [http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo\\_20.pdf](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf)
- REGISTRO OFICIAL, T.** (04 de Mayo de 2015). *LEXISFINDER.* Obtenido de LEXISFINDER:  
<http://www.silec.com.ec/Webtools/LexisFinder/ImageVisualizer/ImageVisualizer.aspx?id=b7a60e957dc04b94858ce9587564690541dae718&type=PAGE&pagenum=21>
- REGISTRO OFICIAL, T.** (05 de Julio de 2016). *LEXISFINDER.* Obtenido de LEXISFINDER:  
[http://www.silec.com.ec/Webtools/LexisFinder/DocumentVisualizer/DocumentVisualizer.aspx?id=AMBIENTE-TEXTO\\_UNIFICADO\\_DE\\_LEGISLACION\\_SECUNDARIA\\_DE\\_MEDIO\\_AMBIENTE&query=descarga%20de%20efluentes#I\\_DXDataRow856](http://www.silec.com.ec/Webtools/LexisFinder/DocumentVisualizer/DocumentVisualizer.aspx?id=AMBIENTE-TEXTO_UNIFICADO_DE_LEGISLACION_SECUNDARIA_DE_MEDIO_AMBIENTE&query=descarga%20de%20efluentes#I_DXDataRow856)
- SOLSONA, F., & MÉNDEZ, J. P.** (2002). *CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (OPS/CEPIS), DIVISIÓN DE SALUD Y AMBIENTE.* Obtenido de DESINFECCIÓN DEL AGUA: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacep/e/servi.html>
- UCLM, U., & SALVADOR.** (s.f.). *UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA.* Obtenido de [https://previa.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58109/teoria/anova\\_un\\_factor-lectura.pdf](https://previa.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58109/teoria/anova_un_factor-lectura.pdf)
- VALLEJO DELGADO, L.** (2003). *Universidad de Antofagasta; Departamento de Física.* Obtenido de Universidad de Antofagasta; Departamento de Física: [http://intranetua.uantof.cl/crea/INDICE\\_UV\\_\\_PARA\\_PUBLICAR\\_EN.pdf](http://intranetua.uantof.cl/crea/INDICE_UV__PARA_PUBLICAR_EN.pdf)



## ANEXOS.

### ANEXO A: Resultados emitidos por la Central Hidroeléctrica Agoyán.

**Tabla 1A.** Análisis del agua realizados por la Central Hidroeléctrica Agoyán.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado 2015			
				Junio	Agosto	Octubre	Noviembre
Potencial de hidrógeno	pH	-	>6.5 y <9	7.87	7.71	7.54	7.46
Temperatura	°C	-	Condiciones Naturales +3 Máx. 20	16	13	14	16
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/L	No menor al 80% y no menor a 6 mg/L	7.8	7.5	7.9	7.2
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/L	N/E**	127	185	134	163
Amoníaco*	NH <sub>3</sub>	mg/L	0.02	0.36	0.43	0.57	0.68
Coliformes fecales		Nmp/100ml	200	2.4x10 <sup>3</sup>	2.4x10 <sup>3</sup>	2.4x10 <sup>3</sup>	2.4x10 <sup>3</sup>
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Caudal (+)	Q	L/s	N/E**	27 000,0	30 000,0	39000,0	45 000,0

N/E= valor No establecido en la norma aplicable; (+) Caudal promedio en la descarga casa de máquinas.

En la tabla anterior se puede apreciar la variación de los parámetros monitoreados durante el periodo de monitoreo ambiental externo, de los cuales los parámetros Amoníaco, coliformes fecales y oxígeno disuelto, se encuentra fuera del límite permisible.

**ANEXO B.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y Grasas	Sus. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Cloro real <sup>1</sup>	Cloro real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0

Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno total Kjedahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	$\text{SO}_4^{-2}$	mg/l	1000
Sulfuros	$\text{S}^{-2}$	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural +- 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

**Realizado por:** Erika Daniela Castillo Hidalgo.

**Fuente:** (REGISTRO OFICIAL, LEXISFINDER, 2016)

**ANEXO C.** Toma de muestras - Lugar barrio La Ciénega de la parroquia Ulba del cantón Baños de Agua Santa.



**Figura 1:** Muestreo del punto uno (P1)



**Figura 2:** Muestreo del punto dos (P2)

**ANEXO D:** Solución de dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$ .





**ANEXO E:** Preparación de las varillas de vidrio para su adherir dióxido de titanio en ellas.



**Figura 1:** Lijado de varillas.



**Figura 2:** Lavado de varillas.



**Figura 3:** Secado de las varillas en la estufa durante dos horas.



**Figura 3:** Pesado de las varillas cada dos horas después de salir de la estufa de secado.

**ANEXO F:** Adherencia del dióxido de titanio en las varillas de vidrio.



**Figura 1:** Introducción de las varillas de vidrio en la solución de dióxido de titanio para su adherencia.



**Figura 2:** Secado de las varillas de vidrio con la solución de dióxido de titanio para su adherencia.



**Figura 3:** Pesado de las varillas de vidrio con la solución de dióxido de titanio durante doce repeticiones para su adherencia.



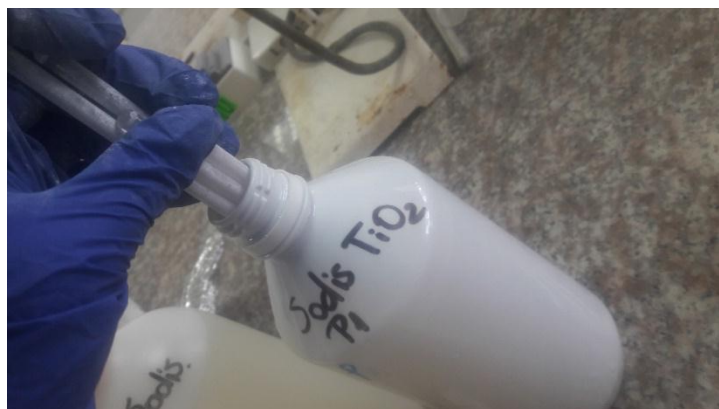


**Figura 4:** Calcinación de las varillas de vidrio con dióxido de titanio durante cuatro horas en la mufla.



**Figura 5:** Peso final de las varillas de vidrio con la solución de dióxido de titanio después de permanecer por cuatro horas en la mufla para su adherencia.

**ANEXO G:** Desinfección solar SODIS y SODIS/Dip-Coating.



**Figura 1:** Introducción de las varillas de vidrio en el interior de las botellas de plástico PET con las muestras del punto uno (P1) y del punto dos (P2).



**Figura 2:** Botellas de plástico PET con las muestras del punto uno (P1) y del punto dos (P2) de SODIS y SODIS/Dip-Coating.

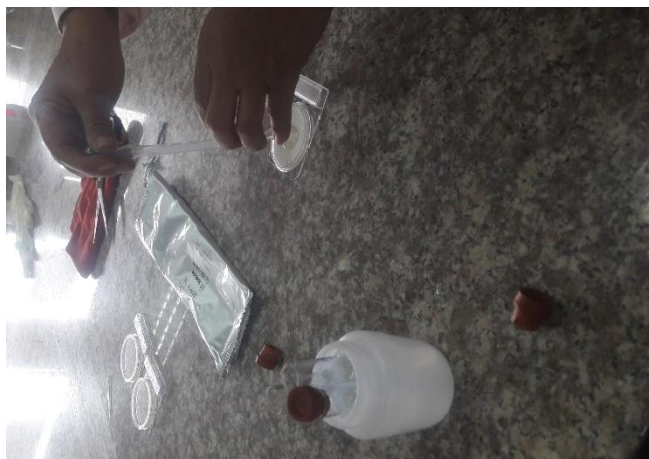


**Figura 3:** Botellas SODIS y SODIS/Dip-Coating expuestas a la radiación solar.



**Figura 4:** Botellas SODIS y SODIS/Dip-Coating expuestas a la radiación solar.

**ANEXO H:** Siembra de coliformes fecales y coliformes totales en las placas Compact Dry EC.



## ANEXO I: Equipos empleados.



**Figura 1:** Columna de cromatografía.



**Figura 2:** Estufa.



**Figura 3:** Mufia.



**Figura 4:** Balanza analítica.



**Figura 5:** Baño de ultrasonido.

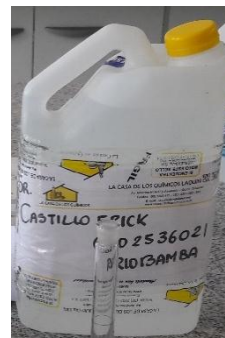


**Figura 6:** Lija, varillas de vidrio, guantes.

**ANEXO J:** Reactivos utilizados en el método Dip-Coating.



**Figura 1:** Dióxido de titanio.



**Figura 2:** Agua desmineralizada.



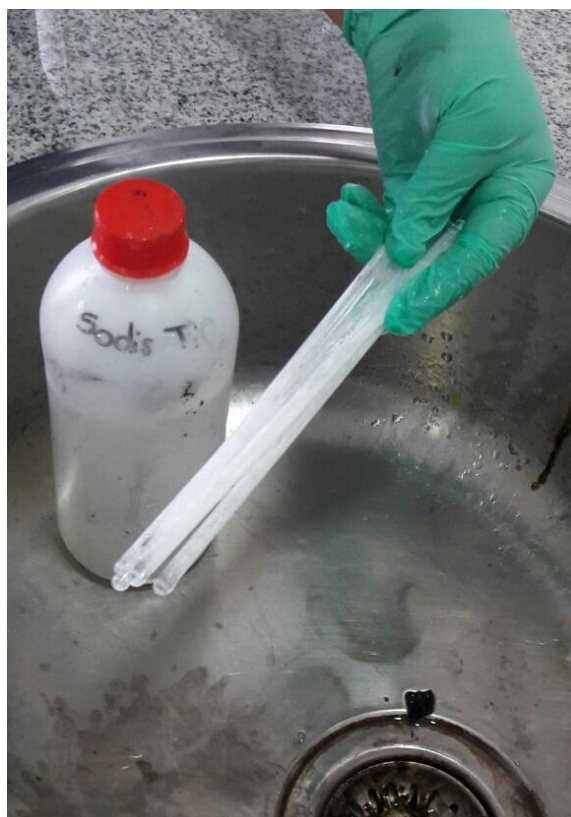
**Figura 3:** Agua destilada.



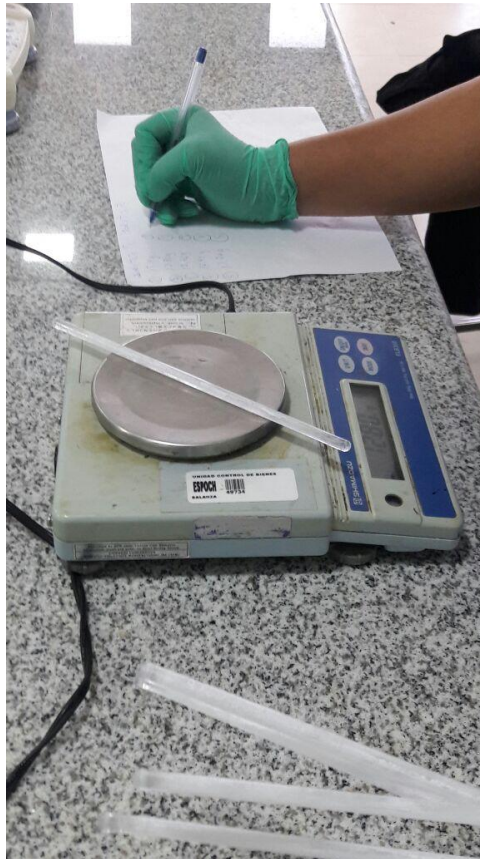
**ANEXO K:** Identificación y peso de las varillas después de 12 días de aplicado el proceso.



**Figura 1.** Identificación de las varillas en SODIS/Dip-Coating del punto 1



**Figura 2.** Identificación de las varillas en SODIS/Dip-Coating del punto 2



**Figura 3.** Pesaje de las varillas colocadas en cada punto de muestra



**ANEXO L:** Definición prueba de Kruskal-Wallis.

La prueba de Kruskal-Wallis fue propuesta por William Henry Kruskal (1919- ) y W. Allen Wallis (1912- 1998) en el artículo "Use of ranks in one-criterion variance analysis" publicado en el "Journal of American Statistics Association" en 1952. La prueba de Kruskal-Wallis es empleada para el contraste de k medianas, que generaliza a la prueba de MannWhitney-Wilcoxon para dos medianas. (UCLM & SALVADOR, págs. 1-4)

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

#### **ANEXO M:** Definición Prueba T.

El procedimiento Prueba T para muestras independientes compara las medias de dos grupos de casos. Lo ideal es que para esta prueba los sujetos se asignen aleatoriamente a dos grupos, de forma que cualquier diferencia en la respuesta sea debida al tratamiento (o falta de tratamiento) y no a otros factores. (IBM)